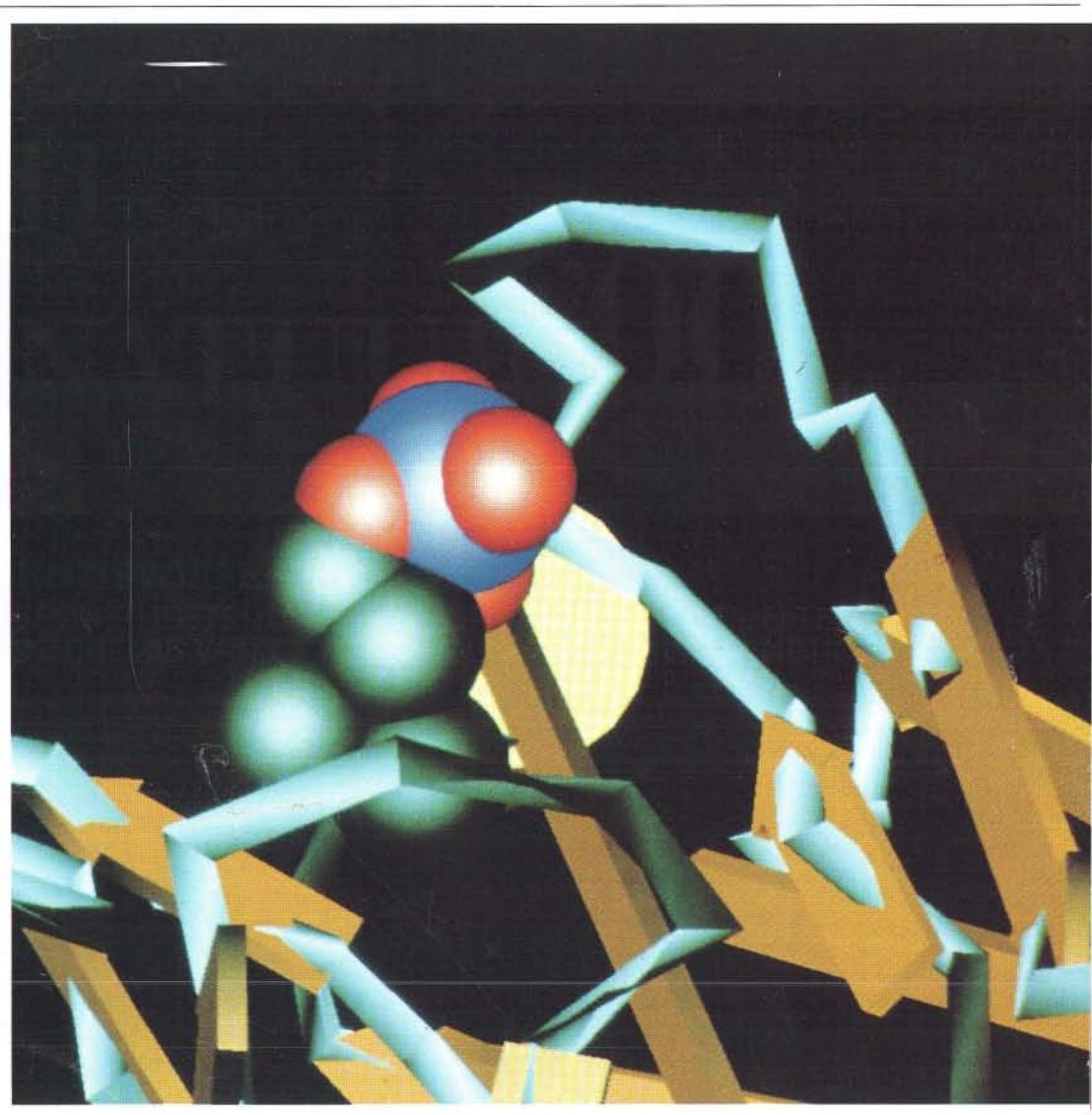


11

58^e jaargang

NATUUR '90 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



ANTISTOFFEN ALS ENZYME

BRONSTIJDSTRIJD/HEELAL ZONDER KNAL/DE PIJN TE LIJF/
DE CHEMIE VAN DE MONDHOLTE/DE NIEUWE GENETICA

Aardgas komt uit de aarde, zou je zeggen. Dat klopt, maar 't klopt niet meer helemaal. Sinds 1987 haalt de Gasunie een deel van ons aardgas, de stikstof, soms gewoon uit de lucht.

Hoe zit dat? Wel, het ene aardgas is het andere niet. Het gas uit Groningen heeft bijvoorbeeld een andere samenstelling en calorische waarde dan het gas uit velden in Drenthe en Twente.

Het eerste gas, waarop onze gastoestellen zijn afgesteld, bevat 14% stikstof en het laatste gas slechts 2%. Het lijdt als het ware aan een stikstoftekort.

Vandaar dat we in Ommen een stikstoffabriek hebben gebouwd, waar bij een temperatuur van 164 graden onder nul iets plaatsvindt dat ook in onze longen gebeurt: stikstof wordt van zuurstof gescheiden.

De zuurstof gaat terug de lucht in en met de stikstof verrijken we het stikstofarme aardgas tot het de 'Groningse standaard' heeft bereikt. Thuis zult u dus nooit merken dat er verschillende aardgassen zijn.

Meer weten over aardgas? Een briefje (zonder postzegel) naar N.V. Nederlandse Gasunie, antw.nr. 23, 9700 VB Groningen en wij sturen u de brochures "Aardgastransport" en "Stikstofconditionering" toe. **Ons aardgas is in goede handen bij de Gasunie.**

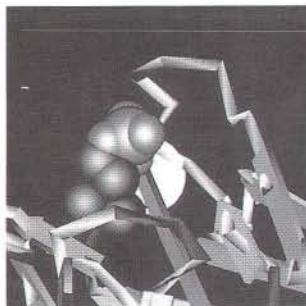


Hier halen we
tegenwoordig
'n deel van ons
aardgas uit.

NATUUR '90 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,95 of 215 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Antistoffen spelen een hoofdrol in de verdedigingslinie van ons lichaam. Ze herkennen en binden een indringer, zoals hier een molekool dat is weergegeven met bollen. Omdat tegen vrijwel elk molecuul een antistof kan worden opgewekt, kunnen we ook antistoffen maken die een molecuul binden zoals een enzym dat zou doen. Dat opent de weg naar katalytische antistoffen.

(Foto: Dr Peter Artyuk, University of Sheffield, UK)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuur.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek,
Drs E.J. Vermeulen.

Redactiesecretariaat: R.A. Bodden-Welsch, Drs L.P.J. Slangen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Drs G.P.Th. Kloeg,
A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozen-
daal, N.I.M. van Wetten, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J.D. van der Baan, Dr. P.
Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M.
van der Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse,
Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P.
Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post,
R.J. Querido, Dr A.F.J. van Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser,
Dr J.H. Stel, J.A.B. Verdijnen, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W.
Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de
Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur &
Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoor-
delijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.).

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Voor België:
Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel. Tel.: 0(0-31)43 254044 (op
werkdagen tot 16.30 uur). Fax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044
(tot 20.30 uur, óók in het weekend).

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen
project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR
(GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E
TECHNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTMIS (GR) en MUNDO CIENTÍFICO
(E), met de steun van de Commissie van de EG.

Gehele of gedeelteelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave
(ook voor publikatie in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schrif-
telijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

EURO
ARTIKEL

natu
vak



ISSN 0028-1093

Centrale uitgeverij en adviesbureau bv.

INHOUD

SIMULATICA/Dikke lenzen	VI
-------------------------	----

AUTEURS	VIII
---------	------

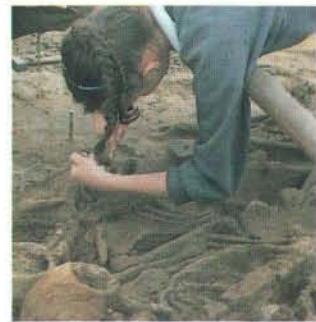
HOOFDARTIKEL/Soorten wetenschap	747
---------------------------------	-----

BRONSTIJDSTRIJD	748
------------------------	-----

Slachtoffers van een oeroorlog

L.P. Louwe Kooijmans

Af en toe worden prehistorici door onverwachte vondsten op het verkeerde been gezet. Dan zijn zij zich weer bewust van het feit dat zij niet zozeer een beeld van de prehistorie ontwerpen, maar meer een karikatuur schetsen, waarin veel belangrijke maatschappelijke aspecten ontbreken door een gebrek aan gegevens. De opgraving van een groepsgraf te Wassenaar verstoerde zo het idyllische beeld dat we hadden van de brave boeren uit onze Bronstijd en voegde daar de inheemse oorlogvoering aan toe: strooptochten voor vee of gewapende groepsduels.



ROTSEN IN DE BRANDING	760
------------------------------	-----

De chemie van de mondholte

A. ten Cate-Stoppelenburg, J.M. ten Cate en W.R. Moorer

Vanuit het perspectief van een korrel chocolade hagelstag moet de mondholte er uitzien als een adembenemend mooi gebergtje in de branding. Zijn noodlot is dat de rotsen hem zullen verpletteren en hij als gruis zal worden afgevoerd. Heeft hij echter het geluk in een rustige baai achter te blijven, dan kan zijn wraak zoet zijn. Met bacteriën als bondgenoten kan de korrel zijn belagers flinke schade toebrengen via een kleverige, zure afzetting die kan leiden tot ernstig tandbedref. Tegen dergelijke chemische terreur past een chemisch antwoord: wapens als fluoride en moderne tandpasta's.

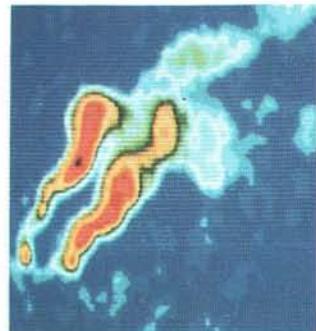


HEELAL ZONDER KNAL	772
---------------------------	-----

Een eindeloze plasmazee

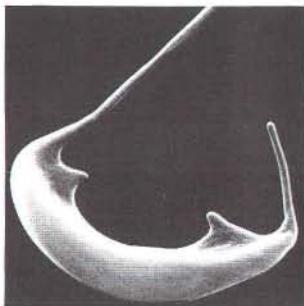
Anthony L. Peratt

De heersende kosmologische theorie, de oerknaltheorie, vertelt ons dat het heelal ergens tussen de vijftien en twintig miljard jaar geleden ontstond. Na een geweldige explosie verspreidden materie en energie zich in alle richtingen. De werking van de zwaartekracht op de materie resulteerde vervolgens in de vorming van sterrenstelsels. Is deze theorie juist? Een groeiende groep kosmologen blijkt aanhanger te zijn van de plasmatheorie. In deze hypothese kent het heelal geen begin en geen eind, en is het de elektromagnetische kracht die het heelal beheert.



NATUUR '90 & TECHNIEK

november / 58^e jaargang / 1990

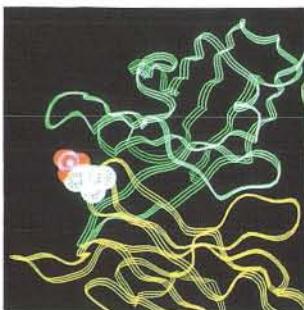


KIJK OP WETENSCHAP

De nieuwe genetica

Omar Sattaur

Vandaag de dag kunnen wetenschappers gemakkelijk met genen manipuleren. Als resultaat daarvan kunnen zij erfelijke ziekten steeds vaker al vóór de geboorte opsporen en begrijpen we steeds meer van aandoeningen met een complexe genetische achtergrond, zoals hart- en vaatziekten en kanker. De toekomst zal de mogelijkheid van 'gentherapie' brengen, waarbij zieke genen door gezonde worden vervangen.



ANTISTOFFEN ALS ENZYME

784

W.G.J. Hol

De functies van antistoffen en enzymen zijn in de natuur strikt gescheiden. Dat begint nu te veranderen. Enzymen en antistoffen hebben namelijk met elkaar gemeen dat ze andere molekülen specifiek kunnen binden. In die specificiteit schuilt de snelheid waarmee enzymen reacties laten verlopen. Sommige antistoffen binden een molekül net zo als een enzym dat zou doen, en katalyseren dus de reactie waar dat molekül aan deelneemt. Omdat er eindeloos veel verschillende antistoffen voorkomen, zijn daar vast kandidaten bij voor chemische reacties waar geen enkel enzym raad mee weet.



DE PIJN TE LIJF

794

J.E.R. Devulder

Wie ooit in een spijker is getrapt, gelooft nauwelijks dat een fakir genoeglijk op zijn spijkerbed ligt. Een snee in je vinger veroorzaakt een scherpe pijn die meestal snel weer verdwijnt. Ontsteekt de wond, dan zal die zorgen voor een aanhoudende pijn, maar ook die trekt na verloop van tijd weg. Daarentegen kan een reumapatiënt voortdurend pijn voelen, hoewel zijn omgeving daar vaak nauwelijks iets van merkt. De verschillende pijnenmerken vragen om een veelzijdige aanpak in de bestrijding van pijn. Moderne therapieën zijn bijvoorbeeld zenuwstimulatie en zenuuvernieling. Maar ook het vertrouwde aspirientje blijkt een aardig steentje bij te dragen in de strijd tegen pijn.

ANALYSE & KATALYSE

806

Ruzie over de technologie / De achterkant van het papier

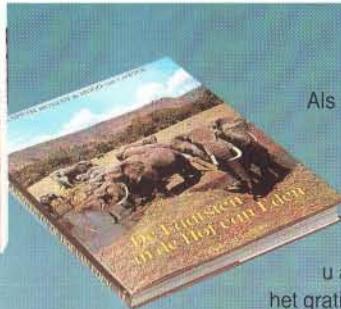
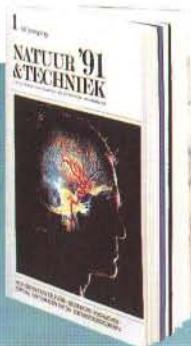
BEZIENSWAARDIG / ACTUEEL

816

PRIJSVRAAG

822

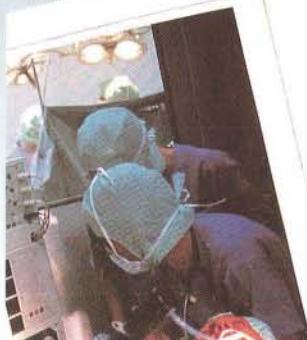
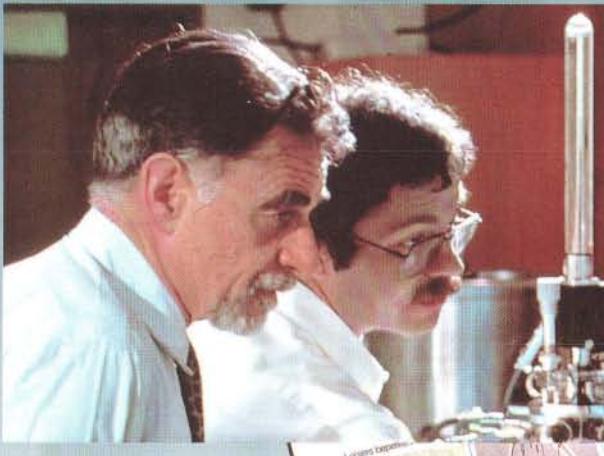
• voor de komende GESCHENKENMAAND • • •



Een cadeau-abonnement

Als abonnee op NATUUR & TECHNIEK kunt u ook aan een ander een abonnement 1991 cadeau doen. Daarvoor ontvangt uzelf gratis het boek DE LAATSTEN IN DE HOF VAN EDEN (prijs in de boekhandel / 49,90 of 980 F).

Op de ingevoegde kaart in dit nummer kunt u aangeven aan wie het cadeau-abonnement en aan wie het gratis boek gestuurd moeten worden.



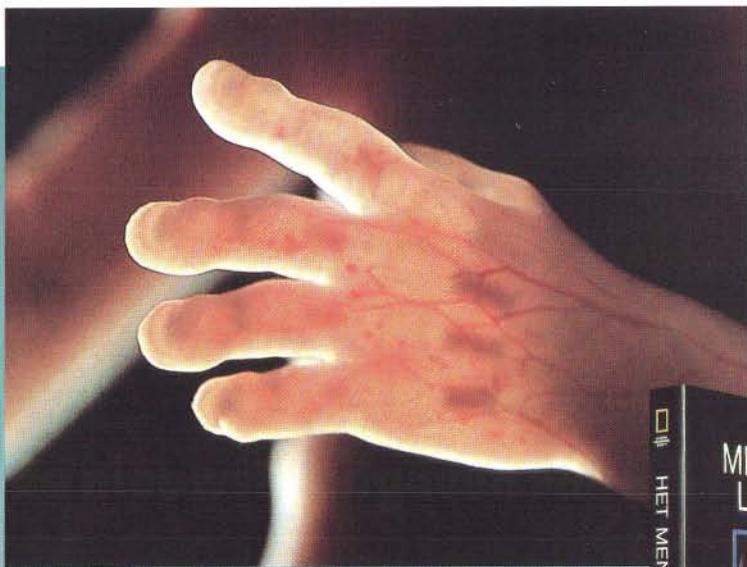
IN NAVOLGING VAN PASTEUR

Het AIDS-virus, monoklonale antilichamen, chemische veranderingen die de activiteit van zenuwvezels beïnvloeden... In medisch onderzoek, en hersen- en gedragsstudies levert Europa een uitstekend werk.

DEEL 7



• • de nieuwste uitgaven van N & T • •



HET MENSELIJK Lichaam

Het *menselijk lichaam* werd door vele deskundigen geschreven en vormgegeven. Het boek is voorzien van talrijke illustraties: vele foto's, onder andere van Lennart Nilsson, een schat aan verduidelijkende illustraties in de vorm van art-impressions en computersimulaties.

Het boek doet uitvoerig verslag over alle functies van het menselijk lichaam: van DNA tot en met een volwassen orga- nisme, van het bloed tot en met het immuunsysteem, van de waarneming tot en met de verwerking daarvan.

Formaat 23 x 28 cm. Geheel in vierkleurendruk. Gebonden in linnenband met stofomslag, 384 pagina's met 413 afbeel- dingen. Prijs: f 145,- of 2845 F. Voor onze abonnees: f 95,- of 1860 F (betaalbaar in 2 termijnen).

HET MENSELIJK Lichaam



WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN EUROPA

Of uw nieuwsgierigheid nu uitgaat naar 'het zwarte gat' in de kosmos of naar auto's die te intelligent zijn om tegen elkaar te botsen, U zult getuige kunnen zijn van de verbazingwekkende vooruitgang die Europa's meest vooraanstaande wetenschapsmensen op allerlei terreinen hebben geboekt. Zowel op het gebied van robotica, erfelijkheidsleer als de exploratie van de ruimte. U zult kennis kunnen nemen van de bijdragen van Nobelprijswinnaars. En van meer dan tachtig vooraanstaande Europese wetenschappers, mannen en vrouwen, die grensoverschrijdend werk verrichten. Formaat 24 x 30 cm. 508 pagina's met 1482 afbeeldingen. Geheel in vierkleurendruk. Gebonden in linnen band met stofomslag. Prijs f 175,- of 3450 F. Voor onze abonnees: f 125,- of 2450 F (excl. verzendkosten). Betaalbaar in 2 ter- mijnen.



overzicht van ons totale

• BOEKENPAKKET • • • • •



HET GREVELINGENMEER

Van estuarium naar zoutwatermeer
Prijs f 27,50 of 540 F.

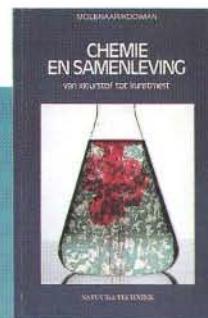
Voor abonnees f 22,50 of 440 F.



VONDSTEN UIT HET VERLEDEN

Oudheidkundig bodemonderzoek
Prijs f 17,50 of 345 F.

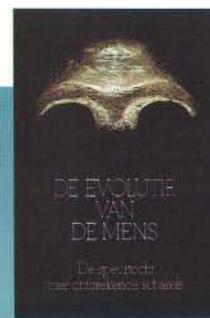
Voor abonnees f 15,- of 295 F.



CHEMIE EN SAMENLEVING

van kunststof tot luchtverontreiniging

Natuur & Techniek



DE EVOLUTIE VAN DE MENS

De speurtocht naar ontbrekende schakels

Prijs f 52,50 of 1030 F.

Voor abonnees f 35,- of 685 F.



DE EVOLUTIE VAN DE MENS

(in linnenband)

De speurtocht naar ontbrekende schakels

Prijs f 52,50 of 1030 F.

Voor abonnees f 35,- of 685 F.

CHEMIE EN SAMENLEVING

Een onverbrekelijke maar riskante relatie

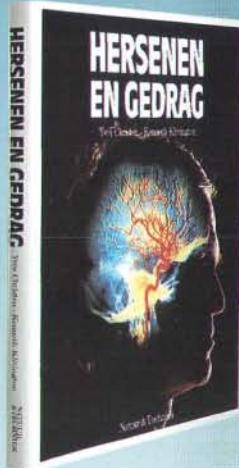
Prijs f 32,50 of 635 F.

Voor abonnees f 25,- of 490 F.

DE MUMMIES VAN QILAKIT-SOQ

Prijs f 59,50 of 1165 F.

Voor abonnees f 42,50 of 835 F.



HERSENNEN EN GEDRAG

Prijs f 145,- of 2845 F.

Voor abonnees f 95,- of 1860 F.



CELLEN, WEEFSELS EN ORGANEN

Een scanning-elektronenmicroscopische studie-atlas

Nature en Techniek



DE MUMMIES VAN QILAKITSOQ

CELLEN, WEEFSELS EN ORGANEN

Een scanning-elektronenmicroscopische studie-atlas

Prijs f 94,- of 1845 F.

Voor abonnees f 65,- of 1275 F.

Voor uw bestelling kunt u gebruik maken van de twee in dit nummer gevoegde kaarten. Alle prijzen zijn exclusief verzendkosten. Alle boeken zijn tegen de normale prijs ook verkrijgbaar via de erkende boekhandel.

Voor Nederland:

Op de Thermen, Postbus 415
6200 AK Maastricht.

Tel. 043-254044

Voor België:

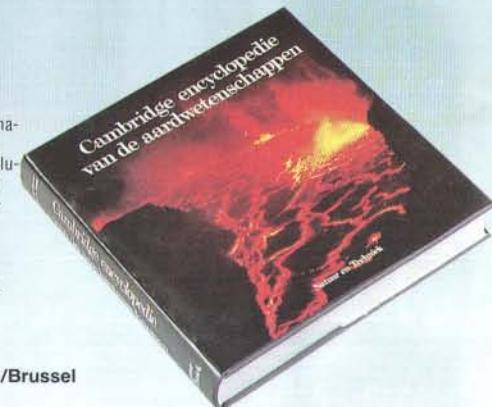
Boechtstraat 15 - 1860 Meise/Brussel

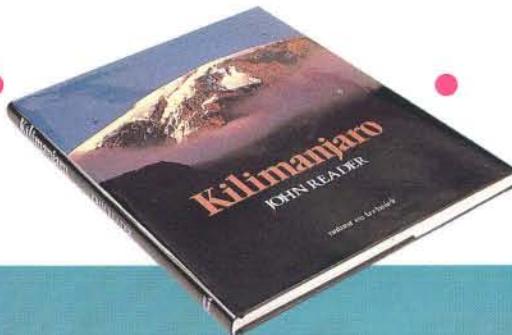
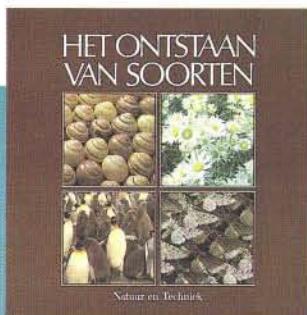
Tel. 00.31.43.254044 (Ned.)

DE CAMBRIDGE ENCYCLOPEDIA VAN DE AARDWETENSCHAPPEN

Prijs f 125,- of 2450 F.

Voor abonnees f 95,- of 1860 F.





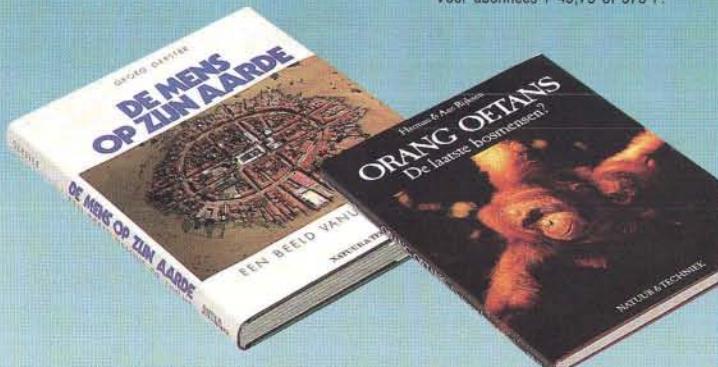
DE INFORMATIEMAATSCHAPPIJ

(in linnenband)

De gevolgen van de micro-elektronische revolutie

Prijs f 47,50 of 930 F.

Voor abonnees f 30,- of 590 F.



VERANDEREND NEDERLAND

Een halve eeuw ontwikkelingen op het platteland

Prijs f 69,50 of 1360 F.

Voor abonnees f 49,75 of 975 F.

VERANDEREND NEDERLAND

Aan Groningen *een halve eeuw ontwikkelingen op het platteland*

Natuur & Techniek



HET ONTSTAAN VAN SOORTEN

De evolutietheorie van Charles Darwin

Prijs f 24,50 of 480 F.

Voor abonnees f 17,50 of 345 F.

DE MENS OP ZIJN AARDE

Een beeld vanuit de lucht.

Prijs f 125,- of 2450 F.

Voor abonnees f 95,- of 1860 F.

ORANG OETANS

De laatste bosmens?

Prijs f 69,50 of 1360 F.

Voor abonnees f 49,75 of 975 F.

KILIMANJARO

Een verkenning van de hoogste berg in Afrika

Prijs f 69,50 of 1360 F.

Voor abonnees f 55,- of 1080 F.

ARCHEOLOGIE

Een uitgave in samenwerking met de befaamde National Geographic Society.

Prijs f 145,- of 2845 F.

Voor abonnees f 95,- of 1860 F.

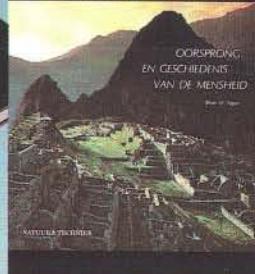
DE OORSPRONG VAN DE MENS

Naar de gelijknamige film van Richard Leakey

Prijs f 24,50 of 480 F.

Voor abonnees f 19,75 of 385 F.

ARCHEOLOGIE

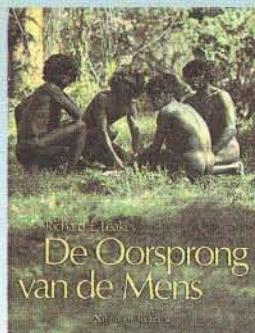
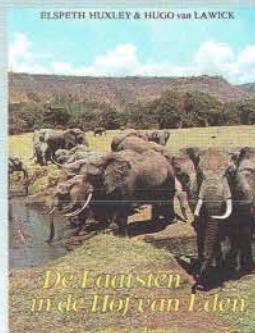


DE LAATSTEN IN DE HOF VAN EDEN

In groepen levende dieren in Afrika

Prijs f 49,90 of 980 F.

Voor abonnees f 32,50 of 635 F.



de WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK blijft groeien

- Geen verplichtingen. U ontvangt elke drie maanden een nieuw deel 14 dagen vrijblijvend op zicht.
- Geen risico. U betaalt pas als U besluit een boek te behouden.
- Prijsvoordeel. De prijs die U als lid voor een boek betaalt is aanzienlijk lager dan de prijs voor een los gekocht boek.
- U kunt op ieder moment uw lidmaatschap stopzetten.

1 Philip Morrison en Phylis Morrison
MACHTEN VAN TIEN
Dimensies in het heelal

2 Richard C. Lewontin
MENSELIJKE VERSCHEIDENHEID
Het spel van erfelijkheid, milieu en toeval

3 Steven Weinberg
BOUWSTENEN VAN HET ATOOM
De wetten van de natuurkunde

4 George Gaylord Simpson
FOSSIELEN
Een beeld van de evolutie

5 John R. Pierce
KLANK EN MUZIEK
Een combinatie van wetenschap en cultuur

6 Roman Smoluchowski
HET ZONNESTELSEL
De aarde en haar kosmische buren

7 Irvin Rock
BEELD EN VERBEELDING
Tussen kijken en zien

8 Thomas A. McMahon en John Tyler Bonner
DE MAAT VAN HET LEVEN
Hoe de natuur haar eigen wetten gehoorzaamt

9 Christian de Duve
DE LEVENDE CEL deel 1 en deel 2
Rondreis in een microscopische wereld

11 P.W. Atkins
ENERGIE EN ENTROPIE
De tweede hoofdwet van de thermodynamica



in 1991 verschijnen:

23 **VAN QUARK TOT KOSMOS**
Onderzoek naar het gedrag van de materie
Leon M. Lederman en David N. Schramm, University of Chicago

Lederman, Nobelprijswinnaar voor fysica, en Schramm beschrijven in dit boek op een heldere wijze hoe onze huidige inzichten over de aard van de ruimte, de tijd en de materie tot stand zijn gekomen en hoe de wereld van neutronen, protonen, leptonen en quarks haar geheimen heeft prijsgegeven.

256 pagina's met 162 afbeeldingen in vierkleurendruk

24 **NAVIGATIE IN DE NATUUR**
Meesters in de stuurmanskunst
Talbot H. Waterman,
Yale University

Vele dieren zijn 'trekkers', soms over grote afstanden. Welke technieken gebruiken dieren om zulke gecompliceerde staaltjes van stuurmanskunst te volbrengen? Waterman laat in dit boek uitvoerig en helder zien hoe dieren op diverse manieren hun eigen 'kompass', 'landkaart' en 'klok' hebben ontwikkeld om hun route te vinden, op het juiste moment en met de juiste snelheid. Ook gaat hij in op de vraag waar dergelijke trektochten voor dienen.

256 pagina's met 190 afbeeldingen in vierkleurendruk



25 **SLAPEN EN DROMEN**
Onderdelen van ons dagelijks gedragsritme
J. Allen Hobson, Harvard Medical School

De laatste zestig jaren begrijpen we steeds beter wat slapen is. In dit grensgebied van het menselijk bewustzijn spelen zich intrigerende processen af die niet tot een afwisseling van waken en rusten zijn te herleiden. Slapen is onderdeel van een dagelijks gedragsritme, en Hobson laat ons zien hoe we steeds meer te weten zijn gekomen over wat er zich in de hersenen op allerlei niveau's afspeelt. Zelfs in deze 'droomwereld' blijven de hersenen in contact staan met hun omgeving.

276 pagina's met 213 afbeeldingen in vierkleurendruk zwart/wit

Niet voor niets telt DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK al duizenden enthousiaste leden. Dat heeft te maken met de uitstekende kwaliteit van de boeken, maar ook met het door ons gekozen systeem dat u zorgeloos lidmaatschap garandeert.

- 12 J.G. van den Tweel e.a.
IMMUNOLOGIE
Het menselijk afweersysteem
- 13 Julian Swinger
EINSTEIN... EN DAARNA
De uitwerking van een geniale gedachte
- 14 John W. Lyons
VIJF
De beheersing van het vlammenspel
- 15 Solomon H. Snyder
PSYCHOFARMACA
Hersen en invloed
- 16 Stefan Hildebrandt en Anthony Tromba
ARCHITECTUUR IN DE NATUUR
De weg naar de optimale vorm
- 17 Steven M. Stanley
UITSTERVEN
Rampen markeren elk nieuw begin
- 18 Herbert Friedman
ZON EN AARDE
Een warme relatie
- 19 MOLEKULEN
Chemie in drie dimensies
P.W. Atkins, University of Oxford
- 20 **DE BIOLOGISCHE KLOK**
Ritmiek van het leven
Arthur T. Winfree, University of Arizona (Tucson)
- 21 **VISUELE INFORMATIE**
Schakelingen in onze hersenen
David H. Hubel, Harvard University
- 22 **EILANDEN**
Oceanen in beweging
H.W. Menard, U.S. Geological Survey



- 26 **ENZYKEN**
Gangmakers in de natuur
David Dressler, Harvard Medical School

Naar schatting bestaan er in de natuur zo'n 10 000 verschillende enzymen; van 2000 daarvan zijn de bouw en de werking vrij goed bekend. Tegenwoordig werken enzymen niet alleen in het klein, in de cel, maar ook in het groot, in de industrie, bij de productie van geneesmiddelen, wasmiddelen etc. Dressler leidt u deskundig rond in deze fascinerende wereld.

256 pagina's met 140 afbeeldingen in vierkleurendruk en zwart/wit

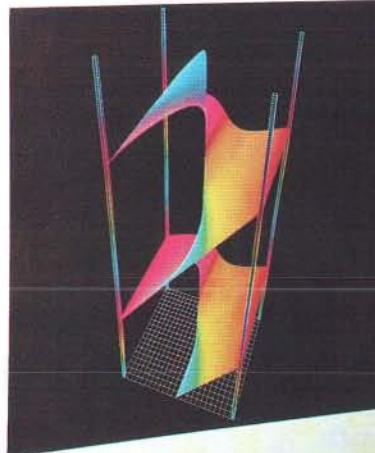
WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK
DE BIOLOGISCHE KLOK

NATHU & TECHNIEK

DE BIOLOGISCHE KLOK

Ritmiek van het leven

ARTHUR T. WINFREE



NAVIGATIE IN DE NATUUR

Meesters in de stuurkunst!

SALVOR H. WATERSMA



De prijs van deze delen is voor leden van de Wetenschappelijke Bibliotheek f 49,75 of 975 F. De losse prijs bedraagt f 74,50 of 1460 F. Voor abonnees van NATUUR & TECHNIEK is de losse prijs f 59,50 of 1165 F.

SIMULATICA

Prof dr
H. Lauwerier

Geometrische optica

Velen van ons hebben in hun kinderjaren gespeeld met een brandglas, om een onschuldig miniatuurbrandje te stichten. Later kwam het begrip dat de lens een bundel evenwijdige lichtstralen in een brandpunt concentreerde tot een klein zonnebeeldje. In de natuurkundelies maakten we kennis met de achterliggende theorie en vervingen we de onbezonneden jeugdige experimenten door romantiekloze tekeningen van stralendoorgangen door een platgeslagen lens. Het was een vak geworden van makers van verrekijkers en microscopen, met veel gerekken en getekend. De tijd van pioniers als Christaan Huygens en Willebrord Snel ligt dan ook ver achter ons. Het is de tijd van de computer geworden.

Nu de computer ons het vervelende re-

en r_2 . De halve hoogte van de lens noemen we h . Het centrum van de lens, gelegen in het gemeenschappelijke snijvlak van de bolsegmenten, kiezen we als de oorsprong van het coördinatensysteem. De lichtstraal laten we beginnen in een punt P_0 in de richting Φ_0 . De straal treft het linkerdeel van de lens in het punt P_1 en daar treedt dan breking op. Ten opzichte van de normaalrichting in P_1 wordt de invalshoek α verkleind tot β . De richting van de straal in het lenslichaam Φ_1 is dus gelijk aan $\Phi_0 - \alpha + \beta$. De coördinaten van P_1 kunnen we berekenen door een vierkantsvergelijking op te lossen. Immers P_1 is het eerste snijpunt van een rechte lijn en een cirkel.

Dat doen we echter niet, want we kunnen een typische computertechniek toepassen. De invallende straal doorlopen we letterlijk punt voor punt, of liever gezegd pixel voor pixel. Omdat het beeldscherm op zijn best toch uit 640 verticale pixellijn is opgebouwd, kunnen we de lichtstraal gerust opbouwen uit individuele puntjes via de PSET(x,y)-opdracht. We voegen met andere woorden dus steeds een nieuw puntje toe totdat het lensoppervlak is overschreden. Zodra de overschrijding plaatsvindt zijn de coördinaten van het trefpunt P_1 met voldoende precisie bekend en kunnen we de richting van de oppervlaktnormaal berekenen. Op analoge wijze bepalen we het punt P_2 waar de straal na breking de lens verlaat.

Het een en ander is samengevat in het programma LENS. Het is misschien goed er nog eens op te wijzen dat de programma's in deze rubriek voornamelijk bedoeld zijn om de wiskundige structuur van de simulatie duidelijk te maken. Programmatechnisch kan er veel aan de programma's worden verbeterd en er kan ook veel meer commentaar in de programma's worden verwerkt, maar dat laten we liever aan de lezer over. In elk geval werkt het programma in deze vorm naar behoren. In het programma kunnen voor een aantal variabelen andere constanten wor-

Een lichtstraal met richting Φ_0 breekt tweemaal aan het oppervlak van een dikke lens.

kenwerk uit handen neemt en ook nog mooie plaatjes kan maken, komt er weer tijd vrij voor leuke experimenten: optische simulatie. Hier beperken we ons tot een enkel probleempje, de stralengang door een dikke lens. In principe betekent dit dat een lichtdeeltje een rechte baan volgt totdat het een optisch grensvlak, de overgang naar een medium met een andere (constante) brekingsindex, treft. De richtingsverandering is bepaald door de wet van Snellius: $\sin(\beta)/\sin(\alpha) = n$. Dat is alles, maar er komt wel wat eenvoudige goniometrie bij kijken om een goedwerkend programma op te stellen.

Het principe van ons computerexperiment is een vlakke doorsnede door de symmetrie-as van de lens. De lens bestaat uit twee bolvormige oppervlakken, kapjes van bollen met de stralen r_1

```

10 REM ***STRALEN DOOR EEN DIKKE LENS***
20 REM ***NAAM:LENS***
30 SCREEN 9 : CLS
40 X0=-2 : PHI0=0
50 WINDOW (-2,-3)-(6,3)
60 H=2 : R1=5 : R2=5 : DIF=.01 : N=1.5
70 XC=1/((N-1)*(1/R1+1/R2))
80 CIRCLE (XC,0),.02
90 M1=SQR(R1*R1-H*H) : M2=SQR(R2*R2-H*H)
100 LINE (0,H)-(0,3) : LINE (0,-H)-(0,-3)
110 A1=ATN(H/M1) : A2=ATN(H/M2)
120 FOR T=-A1 TO A1 STEP A1/50
130 X=M1-R1*COS(T) : Y=R1*SIN(T)
140 PSET (X,Y) : NEXT T
150 FOR T=-A2 TO A2 STEP A2/50
160 X=-M2+R2*COS(T) : Y=R2*SIN(T)
170 PSET (X,Y) : NEXT T
180 FOR K=0 TO 20 : YO=-1.9+K*.19
190 X=X0 : Y=Y0 : A=COS(PHI0) : B=SIN(PHI0)
200 X=X+DIF*A : Y=Y+DIF*B : PSET (X,Y)
210 S=(X-M1)*(X-M1)+Y*Y-R1*R1
220 IF X>0 OR ABS(Y)>3 THEN GOTO 350
230 IF S>0 THEN GOTO 200
240 PSI1=ATN(Y/(M1-X)) : ALFA =PHI0+PSI1
250 BETA=ATN(SIN(ALFA)/SQR(N*N-SIN(ALFA)*SIN(ALFA)))
260 PHI1=PHI0-ALFA+BETA : A=COS(PHI1) : B=SIN(PHI1)
270 X=X+DIF*A : Y=Y+DIF*B : PSET (X,Y)
280 S=(X+M2)*(X+M2)+Y*Y-R2*R2
290 IF S<0 THEN GOTO 270
300 PSI2=ATN(Y/(M2+X)) : GAMMA=PSI2-PHI1
310 DELTA=ATN(N*SIN(GAMMA)/SQR(1-N*N*SIN(GAMMA)*SIN(GAMMA)))
320 PHI2=PHI1+GAMMA-DELTA : A=COS(PHI2) : B=SIN(PHI2)
330 X=X+DIF*A : Y=Y+DIF*B : PSET (X,Y)
340 IF X<6 AND ABS(Y)<3 THEN GOTO 330
350 NEXT K : A$=INPUT$(1) : END

```



den gekozen. De stralen r_1 en r_2 van de bolvormige lensoppervlakken, de relatieve hoogte h van de lens, de brekingsindex n , het beginpunt (x_0, y_0) van de in-vallende straal en tevens de beginrichting Φ_0 . In het gegeven programma is y_0 in een lus ondergebracht zodat een serie evenwijdige stralen op de lens invalt.

Het programma zal hierna weinig toelichting nodig hebben. Tot en met regel 170 gebeurt er niet veel anders dan het tekenen van de lens. Tevens berekent het programma in de regels 70 en 80 het brandpunt met behulp van de klassieke lenzenformule:

$$1/v + 1/b = (n-1)(1/r_1 + 1/r_2)$$

Het eigenlijke werk begint op de regels 190 en 200, waar de lichtstraal punt voor punt wordt opgebouwd. Het om-slaan van het teken van S op regel 230 bepaalt het bereiken van het lensoppervlak. In de volgende twee regels bepaalt het programma de brekingshoeken α en β en in regel 260 de richting Φ van de gebroken straal. De regels 270 tot en met 290 betreffen de straal binnen het lenslichaam. De regels 300 tot en met

320 berekenen de brekingshoeken bij het rechter grensvlak en de richting van de uitstredende straal.

In de tekening is goed te zien dat alleen stralen dicht bij de as goed door het theoretische brandpunt gaan. Stralen die de lens bij de rand treffen laten een behoorlijke afwijking zien. Aldus kunnen we visueel op ons beeldscherm een goede indruk krijgen van de lensfouten (sferische aberratie) die kunnen optreden.

Het geboden programma kunnen we op vrij gemakkelijke wijze aan andere situaties aanpassen. Met slechts een geringe wijziging verkrijgen we een programma voor een lens met een of twee holle grensvlakken. Door er een klein stukje aan te breien kan men bijvoorbeeld ook de stralenloop door een combinatie van twee lenzen bestuderen. Een wat vergaande mogelijkheid is het bestuderen van de lichtintensiteit in een snijvlak loodrecht op de as in de buurt van het theoretische brandpunt. Kortom, er zijn genoeg mogelijkheden voor optische simulatie.

Door de lensfouten gaan de lichtstralen van een evenwijdige lichtbundel niet altijdmaal door hetzelfde brandpunt.



HERHAALDE OPROEP

De N.V. Regionaal Energiebedrijf Dordrecht verzorgt de distributie van Electriciteit, Gas en de Centrale Antenne-inrichting in een groot gedeelte van de Zuidhollandse Eilanden en Waarden. Bovendien verzorgt het de productie en distributie van drinkwater op het eiland van Dordrecht.

Het Drinkwaterbedrijf met ruim 40 medewerkers, omvat twee Zuiveringsstations en een Laboratorium. Dit Laboratorium is een modern geoutleerde afdeling met 20 medewerkers. Naast onderzoek voor de drinkwatervoorziening wordt milieuonderzoek verricht.

Voor de groep, die zich met name bezig houdt met het biologisch onderzoek op het Laboratorium zoeken wij een

groepsleider biologie (m/v)

Functie-inhoud:

- Het leidinggeven aan de groep Biologie.
- Het zorgen voor het op de juiste wijze analyseren van aangeboden monsters en het kwalitatief interpreteren van de analyseresultaten.
- Het zorgen voor de ontwikkeling van biologische analysemethoden.

Onze gedachten gaan voor deze functie uit naar iemand, die op basis van persoonlijke instelling en ervaring coördinerend, structurerend en stimulerend kan optreden.

Daarnaast stellen wij de volgende eisen:

- HLO-microbiologie, of biotechnologie.
- Leidinggevende ervaring.
- Ervaring op het gebied van microbiologisch- en hydrobiologisch-onderzoek.
- Goede contactuele vaardigheden.
- Leeftijdsindicatie ± 30 jaar.

Het maximum salaris ligt op f 5.360,- bruto per maand.

Daarnaast kent de N.V. Regionaal Energiebedrijf Dordrecht uitstekende secundaire arbeidsvoorraarden en valt voor wat betreft de pensioenvoorziening onder het Algemeen Burgerlijk Pensioenfonds.

Inlichtingen over deze functie kunt u tijdens kantooruren verkrijgen bij de chef van het Laboratorium, de heer B. Baardolf, telefoonnummer 078-222401.

Schriftelijke sollicitaties kunt u vóór 24 november 1990 richten aan de afdeling Personeelszaken van de N.V. Regionaal Energiebedrijf Dordrecht, onder vermelding van vacaturenummer N 154.

N.V. Regionaal Energiebedrijf Dordrecht

postbus 62
3300 AB Dordrecht
Noordendijk 250 - telefoon 078-335533

AUTEURS

Prof dr L.P. Louwe Kooijmans ('Oeroorlog') is op 15 augustus 1940 in Arnhem geboren. Hij studeerde fysische geografie en prehistorie in Utrecht en in Leiden. In 1974 promoveerde hij aan de Leidse universiteit. Van 1966 tot 1982 was hij conservator van het Rijksmuseum voor Oudheden, afdeling Prehistorie. Nu is hij hoogleraar prehistorie in Leiden.

Drs A. ten Cate-Stoppelenburg ('Mondholte') werd in 1947 geboren in Deventer. Zij studeerde van 1966 tot 1973 biologie aan de RU Groningen. Sinds haar afstuderen doceerde zij aan diverse scholen voor voortgezet onderwijs. Momenteel werkt zij aan een school voor volwassenenonderwijs en als wetenschapsjournalist.

Prof dr J.M. ten Cate ('Mondholte'), in 1949 geboren in Castricum, studeerde scheikunde aan de RU Groningen. Na zijn promotie in 1979 werd hij aangesteld bij de vakgroep Tandheelkundige Materiaalwetenschappen van de Universiteit van Amsterdam. In 1985 werd hij benoemd tot hoogleraar preventieve tandheelkunde bij het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam.

Drs W.R. Moorer ('Mondholte') werd geboren in 1945 in Rotterdam en studeerde scheikunde (chemische microbiologie, biochemie en mineralogie) aan de Universiteit van Amsterdam. Hij was tot 1977 werkzaam bij AKZO en werd daarna universitair docent bij het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam.

Dr A.L. Peratt ('Plasmaheelal') werd geboren in 1940. Hij studeerde aan de University of Southern California en promoveerde daar in 1971. Daarna werkte hij acht jaar voor het Lawrence Livermore National Laboratory, waarvan twee jaar aan het Duitse Max Planck-instituut voor plasmafysica. Momenteel is hij onderzoeker aan het Los Alamos National Laboratory, New Mexico.

Prof dr ir W.G.J. Hol ('Katalytische antistoffen') is geboren in 1945. Hij studeerde scheikunde in Eindhoven en promoveerde in 1971 in Groningen. In 1974 werd hij universitair hoofddocent en in 1985 hoogleraar bij het BIOSON-instituut, RU Groningen. Hij richt zijn aandacht speciaal op de eiwitkristallografie, het rationeel ontwerpen van medicijnen en protein engineering.

Dr J.E.R. Devulder ('Pijn') werd op 7 december 1955 geboren in Brugge. Hij studeerde aan de RU Gent, waar hij in 1981 promoveerde. Sindsdien is hij verbonden aan het Universitair Ziekenhuis Gent, waar hij sinds 1986 deel uitmaakt van de dienst Anesthesie van de Pijnkliniek.

Soorten wetenschap

Er is wetenschap in soorten. Over hoe dat allemaal precies zit zullen de filosofen altijd wel met elkaar in debat blijven, maar dat het niet allemaal één pot nat is, daarover zijn ze het wel ongeveer eens. Gewoonlijk werkt een onderzoeker in een bepaald denkkader; zijn theorieën en zijn onderzoeksmethoden zijn daaraan aangepast, passen daarin. Sommige filosofen noemen zo'n denkkader een paradigma, sommigen zien het wat anders en noemen het een researchprogramma. Voorbeelden hiervan zijn de quantumtheorie, de relativiteitstheorie en de evolutietheorie. Wanneer onderzoeksuitkomsten in conflict komen met zulke 'basistheorieën', dan wordt in de eerste plaats aan de uitkomsten getwijfeld. Blijken die na extra zorgvuldige herhaling onaanstaanbaar te zijn, dan wordt nog niet de hele theorie verworpen, maar er wordt wat aan toegevoegd waardoor de zaak weer klopt.

Gewoonlijk gaat dat zo door tot zo'n basistheorie een ingewikkelde warwinkel van hulptheorieën nodig heeft om geldig te blijven. Dat was bijvoorbeeld aan het einde van de Middeleeuwen het geval met de zogenaamde epicykels waar mee de banen van de hemellichamen werden verklaard en berekend. Toen het een al te gecompliceerd stelsel werd kwam er plaats voor een geheel nieuwe basistheorie, die toen door Copernicus werd geleverd. Die nieuwe opvatting werd overigens bepaald niet meteen algemeen aanvaard, en dat gebeurt zelden met nieuwe basistheorieën. Terecht, want de oude theorie heeft haar bruikbaarheid bewezen, en al zijn de enige voorbeelden die tot de geschiedenisboeken door dringen de gevallen waarin de nieuwe theorie op den duur sterker bleek, de meeste pogingen om een basistheorie omver te werpen hebben een korte levensduur.

Niet elke spectaculaire ontdekking is een 'wetenschappelijke revolutie'. Blijkens het artikel van Louwe Kooijmans (p. 748) zijn na een opgraving te Wassenar de inzichten over het bestaan van de vroege bewoners van de Lage Landen ingrijpend gewijzigd — maar die nieuwe opvattingen passen verder zowel qua methode als qua theorievorming uitstekend in het onderzoek naar de prehistorie zoals dat gebruikelijk is. De katalytische antistoffen uit het artikel van Hol (p. 784) en de medische mogelijkheden van de genetica in de aflevering van Kijk op Wetenschap, vormen via noest doordouwen verkregen kennisver grotingen binnen de theoretische raamwerken die op dit gebied bestaan.

Met de bijdrage van Peratt (p. 772) ligt dat anders. Hier wordt een geheel nieuw concept aangedragen dat, wanneer de theorie voldoende verklarend vermogen blijkt te hebben, de weg opent naar grote nieuwe onderzoeksprogramma's van een heel andere aard dan die binnen de oerknaltheorie gebruikelijk zijn.

Voor de buitenstaander is dat ontzettend spannend. Voor de onderzoeker is elk experiment, elke berekening een nieuw avontuur. Voor de wetenschap zijn vlijt en inspiratie onmisbaar.

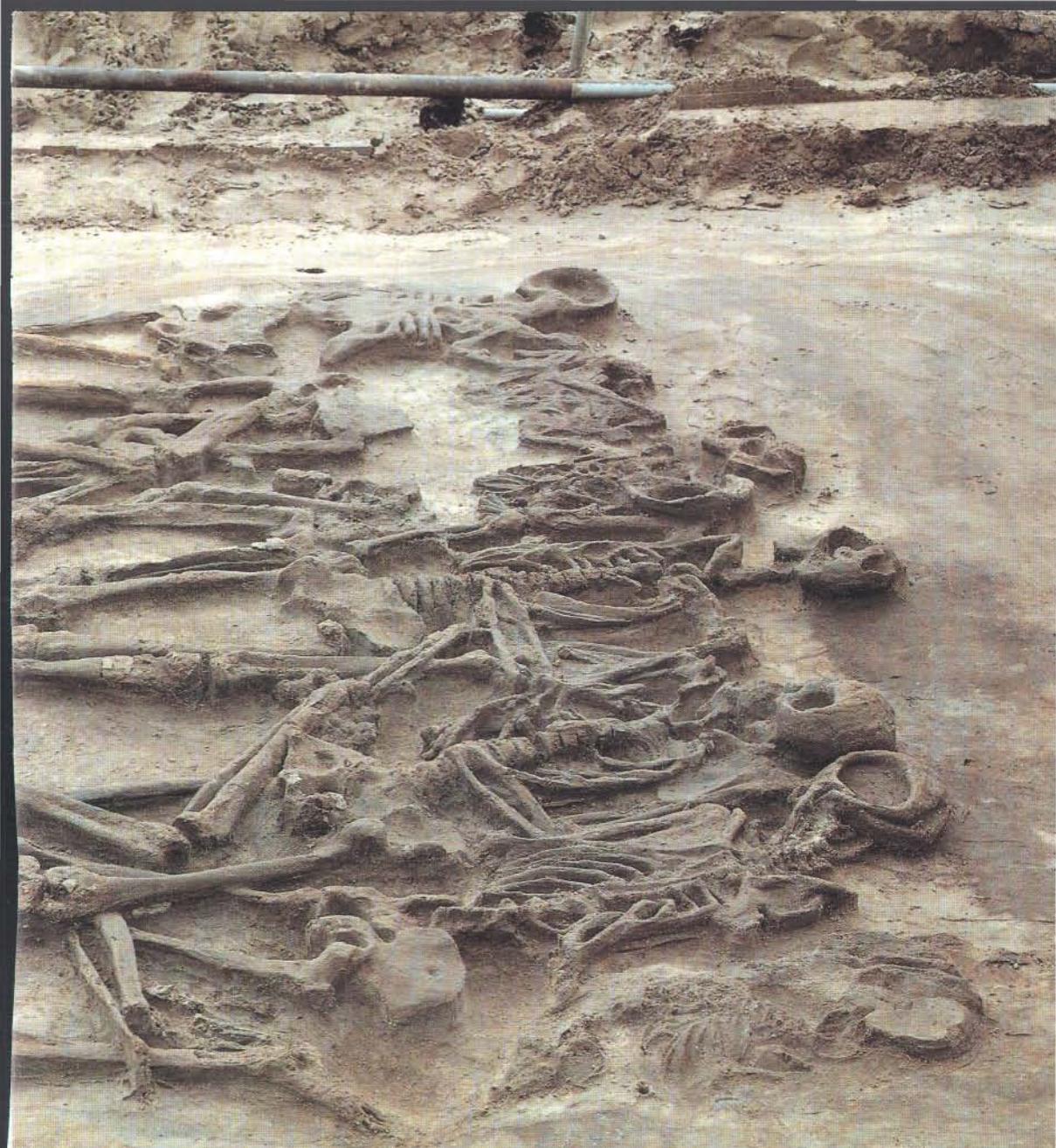


Op een overzichtsfoto van het bronstijdgraf te Wassenaar is te zien dat het skeletmateriaal in het algemeen slecht geconserveerd is. Alhoewel het skelet van nummer 6 (rechts achter) grotendeels is vergaan, kan toch nog worden vastgesteld dat de dode op de buik in het graf was gelegd.

L.P. Louwe Kooijmans

Faculteit der Pre- en Protohistorie
Rijksuniversiteit Leiden

Af en toe worden prehistorici door onverwachte vondsten verrast en op het goede been gezet. Dan zijn zij zich weer bewust dat zij niet zozeer een beeld van de prehistorie ontwerpen, maar meer een karikatuur waarin veel belangrijke maatschappelijke aspecten ontbreken. De opgraving van een groepsgraf te Wassenaar verstoort zo het idyllische beeld van onze Bronstijd en voegde daar inheemse oorlogvoering aan toe: strooptochten voor vee of gewapende groepsduels.



Bronstijdstrijd

slachtoffers van een oeroorlog

Het beeld dat de prehistoricus van voormalige schriftloze samenlevingen ontwerpt, kan door de beperkingen van zijn basisgegevens niet anders zijn dan onevenwichtig en onvolkomen. Belangrijke maatschappelijke aspecten zijn archeologisch nauwelijks zichtbaar en spelen in de beeldvorming zo een veel te bescheiden rol. De groepsbegraafing uit de Bronstijd, bij toeval ontdekt te Wassenaar, maakte ons dat weer eens bewust. Op grond daarvan moet het gangbare beeld van de Nederlandse Bronstijd worden bijgesteld. Het idyllische beeld van zelfverzorgende boeren met hun gemengde bedrijven moet worden aangevuld met gewapende conflicten, met *endemische* (chronische) oorlogvoering. Voor de latere Europese prehistorie met zijn krijgersgraven en heuvelversterkingen was dat allemaal al wel duidelijk, maar wij moeten ook in grote delen van Europa in de periode daarvóór, niet alleen in de Bronstijd maar ook in het Neolithicum, ernstig rekening houden met gewapende conflicten alom. Wat dat betreft heeft het Wassenaarse graf ons de ogen doen openen.

Het graf

In april 1987 werd te Wassenaar een kleine archeologische noodopgraving uitgevoerd van een nederzetting uit de overgang Neolithicum-Bronstijd. Deze was gesitueerd op een klein duintje in het midden van een van de voormalige strandvlaktes. Tijdens de graafwerkzaamheden kwam volstrekt onverwacht een grote grafkuil aan het licht, waarin twaalf personen min of meer ordelijk en kennelijk gelijktijdig waren begraven. Door de ongunstige ligging van het graf, in het duinzand en ruim boven de voormalige grondwaterstand, verkeerden de skeletten in een slechte tot zeer slechte staat. Sommige delen waren zelfs al volledig vergaan. Het uitprepareren, documenteren en lichten, alles onder grote tijdsdruk, is een apart verhaal. Dit artikel behandelt de analyse van het graf en de daaruit voortvloeiende gevolgtrekkingen.

De groep begravenen bestaat uit vijf volwassen mannen, één jonge vrouw, twee volwassenen waarvan leeftijd en sexe niet meer direct vallen te bepalen, twee adolescenten en twee kleine kinderen. Vrouwen zijn duidelijk ondervertegenwoordigd en mannen in de weerbare leeftijd domineren. Hoewel de ligging van de doden een eerste indruk geeft van haast en on-



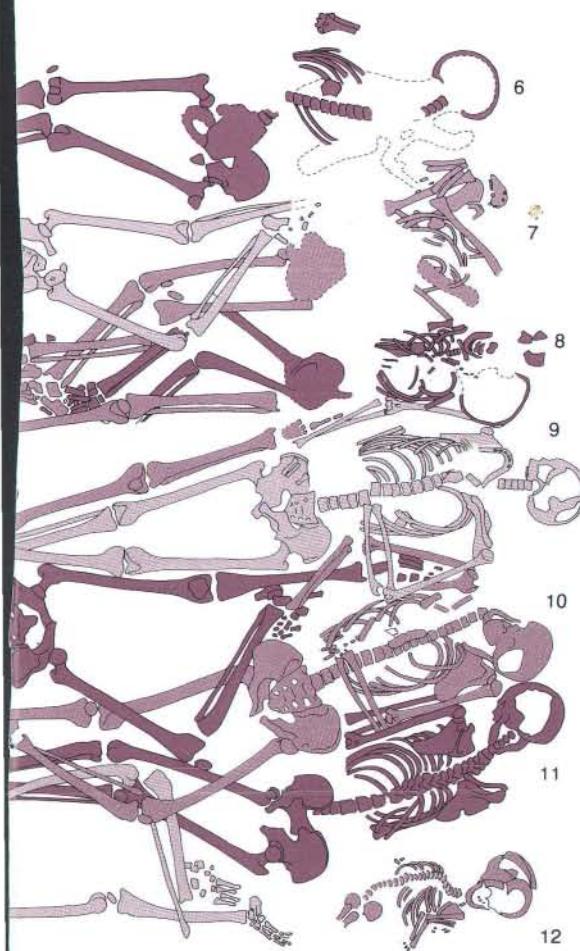
1. De onderkaak van individu nummer 2 toont de afdrukken van een zwaar en scherp slagvoorwerp. De beschadiging is zeker authentiek prehistorisch en niet tijdens de opgraving ontstaan.

2. In het midden van deze tekening liggen de oude mannen (ouder dan 35) met de nummers 3 en 9. Vermoedelijk zijn de individuen met de nummers 6 en 11 twee vrouwen. De kinderen en jongeren zijn te vinden bij de nummers 4, 7, 8 en 12. De vier jonge mannen, aangegeven met de nummers 1, 2, 5 en 10, zijn het laatste in het graf bijgezet. Bij de graflegging moeten diverse ledematen zijn herschikt.

3. De opgraving vond plaats in het uitbreidingsplan Weteringpark aan de noordzijde van Wassenaar, waar de lokatie door amateurarcheologen van de Historische Kring was ontdekt bij de aanleg van een weg.



3



zorgvuldigheid, blijken er bij nader inzien toch allerlei regels in acht te zijn genomen. Zo liggen alle mannen op hun rug, de oudste (nummer 3) met beide benen volledig gestrekt in het midden, de vier andere jonge mannen allen in een heel opmerkelijk pose daarnaast: zij hebben één been gebogen en de voet daarvan tegen de scheen van het andere, gestrekte been geplaatst. De kinderen liggen op de zij met licht opgetrokken knieën. De vrouw (nummer 11) ligt met een zeer jong kind geheel aan de zijkant en – opmerkelijk – op haar buik, evenals een tweede individu aan de andere zijde van de kuil. Zo heeft ook de 'oude heer' in het midden een dubbelganger in nummer 9.

Nu zijn sexe en leeftijd zowel bij (sub)recente 'primitieve' als bij vergelijkbare prehistorische gemeenschappen zeer belangrijke statusfactoren geweest, die met name ook in het grafritueel tot uitdrukking kwamen. Op grond hiervan is het niet alleen verleidelijk maar zelfs aannemelijk om nummer 6 als een volwassen vrouw op te vatten en nummer 9 als een oudere man.

Niet alleen de onderscheiden grafhoudingen, maar ook de ordening in het graf is opmerkelijk: één oudere man (of twee oudere mannen) in het centrum, zeer waarschijnlijk twee vrouwen aan de buitenkant en in de tussenliggende ruimtes de jonge mannen en jongeren.

De volgorde van begraving kan in principe worden vastgesteld aan de hand van overlappende ledematen. Helaas zijn er daarbij nogal wat tegenstrijdigheden, die alleen zijn te ver-



4

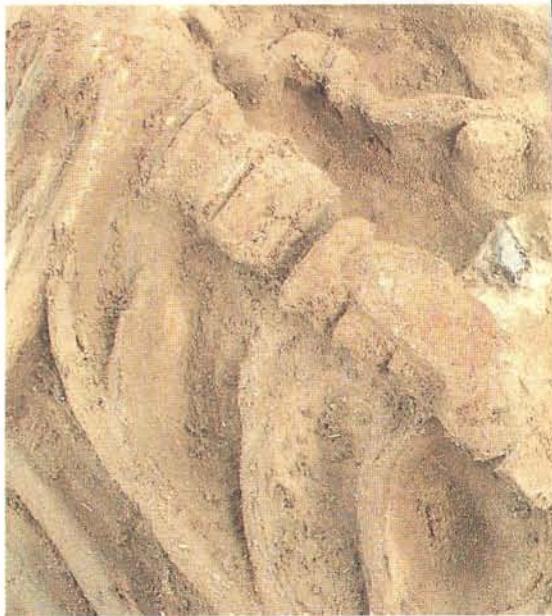
4. Grafresten werden in het Laboratorium voor Isotopen-Fysica in Groningen gedateerd met behulp van de koolstof-14-methode. De halveringstijd van koolstof-14 is 5750 jaar. Omdat er nog zo'n 63% van de C-14-radioactiviteit restteerde, moest het graf ongeveer 1700 v.Chr. zijn gegraven.

klaren door het herschikken van ledematen tijdens de begravingsceremonie. Het is het meest waarschijnlijk dat eerst beide oudere mannen, beide vrouwen en de kinderen zijn neergelegd, gevolgd door de jonge mannen in de vrijgehouden ruimtes daartussen. De groep is blijkbaar met zorg en toewijding begraven en daarbij zijn allerlei regels toegepast die voor de begravers een betekenis moeten hebben gehad.

Doodsoorzaak

Uit de ligging van de diverse skeletten, leiden we af dat deze groep gelijktijdig is omgekomen en ook tegelijkertijd kort daarna, vóór het intreden van *rigor mortis*, ter aarde is besteld. Een aantal waarnemingen maakt duidelijk dat geweld de doodsoorzaak is geweest. Daar is al lereerst een vuurstenen pijlspits, aangetroffen in de ribbenkast van individu 10. Voorts min of meer duidelijke houwsporen in de onderkaak van nummer 2, in de rechterbovenarm van nummer 3 en in de schedel van nummer 5. Wij moeten daarbij beseffen dat een gewelddadige dood geen sporen hoeft na te laten op skeletdelen en dat het bot zo zacht en vergaan is, dat eventuele sporen niet meer zichtbaar hoeven te zijn. Ook zijn er nogal wat skeletdelen verplaatst na de begraving, bijvoorbeeld door graverij van dieren, doorworteling of boomvallen. Dat is het geval bij de nummers 6, 7 en 8 en bij de rechterarm van nummer 1. Dit kan echter nauwelijks de verklaring zijn voor de bijzondere ligging van de schedel van het jonge kind

nummer 4, op de gebogen linkerarm van individu 3. Het lijkt er erg op dat in dit geval het hoofd al bij de begraving gescheiden was van de romp en ook dat kan met geweld samenhangen. Tenslotte vormt de samenstelling van de groep aanleiding te denken aan een gewapend conflict tussen naburige groepen waarbij, gezien de begraven kinderen en vrouwen, ook slachtoffers vielen onder de 'burgerbevolking'.



5

Datering

Het graf is op twee onafhankelijke manieren gedateerd op de overgang van de vroege naar de Midden-Bronstijd. Het is dus van recentere datum dan de resten van de nederzetting waar tussen zij werd gevonden. Er zijn twee C14-dateringen uitgevoerd van houtskoolmonsters uit de grafkuil. Deze leverden uiteindelijk als uitkomst circa 1700 v.Chr. Ten tweede blijken goede typologische parallelle voor de pijlspits te ontbreken bij de vrij talrijke spitsen in klokbekergraven uit het einde van het Neolithicum, maar juist wel voor te komen in gevonden nederzettingen uit het einde van de Vroege Bronstijd in Vogelenzang. Het is verrassend dat de bewoningssporen en dit graf blijkbaar door enkele eeuwen van elkaar zijn gescheiden en dus niets met elkaar te maken hebben. Het te zamen voorkomen op één plaats is begrijpelijk door de landschappelijke situatie: een duintje midden in een vrij drassige vlakte.

De Bronstijd-samenleving in Nederland

Hoe zag de samenleving er uit, waarin wij het graf van Wassenaar moeten plaatsen? Wij kennen die samenleving voornamelijk vanuit twee

soorten archeologische bronnen: nederzettingen en graven.

Nederzettingen heeft men opgegraven op de zandgronden van Noord-, Midden- en Zuid-Nederland, maar ook in het kustgebied en in het uitgestrekte oude kweldergebied van West-Friesland. Door de gunstige conserveringscondities zijn die laatste vondsten voor onze kennis beeldbepalend. Het betreft zuiver agrarische gemeenschappen, waarvoor alleen de visvangst nog enige aanvullende rol in de voedselvoorziening heeft gespeeld. Plattegronden tonen boerderijen met een lengte van 20 tot 30 meter, voorzien van een stal met veeboxen, en akkers omgeven met sloten of hekken en met overal kruiselingse ploegsporen. Gecombineerd met grote aantallen dierebotten en planteresten geeft dit een helder beeld van de agrarische bedrijfsvoering. Het gaat om een zuiver gemengd bedrijf, waarin veeteelt en akkerbouw zijn geïntegreerd. Het vee leverde trekkracht en mest voor de akkerbouw, de akkers stro voor de stallen. De veestapel bestond overwegend uit runderen, met daarnaast een beperkt aantal schapen, geiten en varkens en een enkel paard. Bij de resten van gewassen dominieren bedekte gerst en emmertarwe. De verschillen tussen de boerderijen zijn niet opval-

5 en 6. In de borstkas van individu nummer 10, een van de jonge mannen, vond men een vuurstenen pijlspits met een lengte van 3,15 centimeter. Dit langwerpige model met brede steel, zeer kleine weerhaak en zorgvuldige, oppervlakkige retouchering, komt goed overeen met pijlpunten die men vond in een nederzetting uit het einde van de Vroege Bronstijd te Vogelenzang.

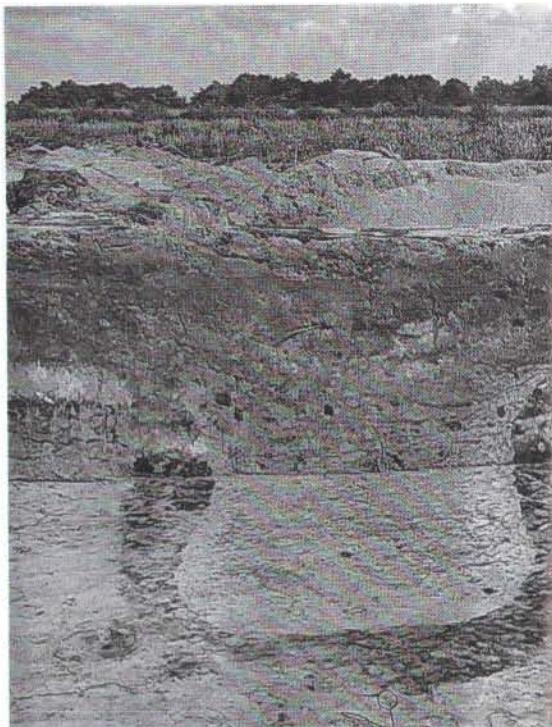


6

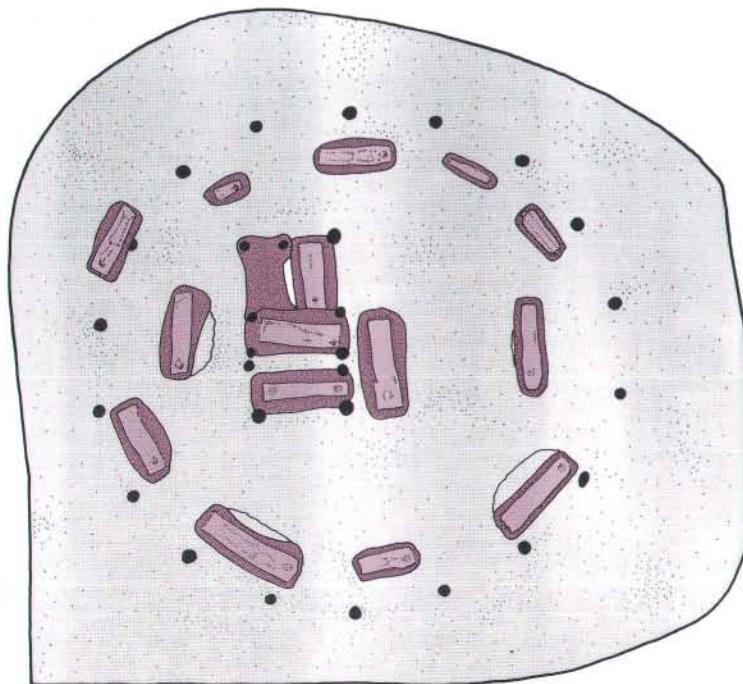
lend, net zo min als er sprake is van verschillen tussen nederzettingen onderling. Het beeld toont grotendeels zelfstandige boerenbedrijven in een sociaal weinig gedifferentieerde samenleving.

Doden werden in de Midden-Bronstijd begraven in en onder uit plaggen opgeworpen grafheuvels, omringd door één of meer palenkranzen. Men legde hen gestrekt in een zware boomkist of zij werden gecremeerd en dan veelal in een urn begraven. Het eerste is de noordelijke traditie van de zogenaamde Elp-cultuur, en het tweede de zuidelijke van de Hilversum-cultuur. Grafgiften zijn steeds zeer schaars. Slechts een enkele maal is er een sieraad, werktuig of wapen meegegeven. In een eenmaal opgeworpen grafheuvel werden vaak generaties lang doden, naar we aannemen verwanten, bijgezet.

Waarschijnlijk vertegenwoordigen deze heuvels maar een segment, en wel het meer aanzienlijke deel, van de samenleving. Eén argument daarvoor is het beperkte aantal grafheuvels in verhouding tot bevolkingsramingen. Een ander argument is te ontlenen aan de Westfriese onderzoeken die een zeer uiteen-



8



7

7. De grafheuvel van Manders (Overijssel) is een karakteristiek voorbeeld van een paalkransheuvel uit de Midden-Bronstijd. Na de centrale bijzetting van een 'familie' is de grafheuvel als begraafplaats in gebruik gebleven. De heuvel is omringd door een kring palen. De doden werden gestrekt in houten (boom)kisten begraven.



8. In Gammelke, Overijssel, werd deze grafkuil in een zo genoemde familie-grafheuvel, gevonden. Deze grafkuil dateert uit de Midden-Bronstijd, circa 1400 v.Chr. De voorste helft van het graf ligt in het horizontale vlak, het overige deel in de profieldam. Het prehistorisch loopvlak is te herkennen als de dunne, zwarte strooisellaag op de lichtgrijze laag. Deze lagen vormen het natuurlijke bodemprofiel van een zo genoemde haarpodzol. De grond boven die bodem is de opgeworpen grond van de grafheuvel. Door verzakking van de grond in het graf is ook een zone van de vaste grond rondom het graf verzakt; die zone behoort dus niet tot de grafkuil.

lopende dodenbehandeling laten zien: teraardebestelling in diverse houdingen naast crematie, grafheuvels naast vlakgraven en relatief veel menselijke resten die, op welke wijze dan ook, tussen het nederzettingsafval in kuilvullingen terecht zijn gekomen! Er is duidelijk sprake van een grote variatie in dodenbehandeling die ten dele sociaal onderscheid zal weerspiegelen. Voor de speciale regels die te Wassenaar zijn toegepast vinden we in de 'normale' graven echter geen duidelijke tegenhangers. Het steeds volledig vergaan van het skeletmateriaal in graven buiten West-Friesland is hier mede debet aan.

Alles met elkaar hebben wij ons een vredzaam-agrarisch, om niet te zeggen idyllisch beeld gevormd van de Bronstijd in Nederland: zelfverzorgende boeren zonder grote statusverschillen en zonder vormen van centrale organisatie, een eenvoudige tribale (uit stammen bestaande) samenleving. Dit beeld wordt door de vondst te Wassenaar op een nogal hardhandige wijze verstoord. Achteraf gezien — maar dat is altijd gemakkelijk praten — was die schok voor ons niet nodig geweest. We hadden beter moeten weten...

Antropologisch referentiekader

Heden	Nieuwe tijd				
1500	Middeleeuwen				
Na Chr.	Romeinen				
400	IJzertijd				
—	Laat				
700	Bronstijd				
Voor Chr.	Midden	Elp/Hilversum			
0	Vroeg	Wassenaar			
2000	Klokbekertijd				
5300	Neolithicum				
	Hunebedden				
	Bandkeramiek				
	Mesolithicum				

Meer inzicht in de prehistorische samenleving levert de culturele antropologie. Nu is het niet zo, dat regels voor (sub)recente 'primitieve' samenlevingen ook zonder meer geldig zijn voor prehistorische. Subrecente primitieve samenlevingen zijn niet onze 'hedendaagse voorouders', wat veel evolutionisten nog wel eens schrijven. Het zijn samenlevingen van deze tijd, maar van een andere, minder gecentraliseerde en minder complexe organisatievorm dan de onze. Zij zijn goed te gebruiken als referentiekader en als inspiratiebron voor modellen, maar ongeschikt als directe bron voor wetmatigheden van samenlevingen in een (niet eens zo) ver verleden, in een andere sociale context en andere milieus dan de etnografische voorbeelden.

Er is verbazend weinig systematische antropologische studie verricht naar een belangrijk verschijnsel als oorlogvoering. Het is evenwel voldoende bekend hoe algemeen oorlogvoering is, welke vormen die kan aannemen in verschillende samenlevingen en ook in hoeverre sporen van strijd archeologisch zichtbaar zijn.



9

Wat dit alles betreft zijn wij vooral geïnteresseerd in tribale samenlevingen. Dit zijn gemeenschappen met een zeer geringe of in het geheel geen centrale macht of regionaal centraal bestuur. Voorbeelden daarvan zijn de papoea's, Amazone-indianen, diverse Noord-amerikaanse indianenstammen en Oostafrikaanse veetelers als de Nuer.

De Amerikaan Keith Otterbein deed een zeer systematische studie naar de mate en wijze van oorlogvoering bij een zorgvuldig uitgekozen mondiale steekproef van vijftig primitieve gemeenschappen, van eenvoudige groepen tot stammen met stamhoofd en van jager-verzamelaars tot ploeglandbouwers. Hij concludeerde dat praktisch alle groepen min of meer frequent, aanvallend en/of verdedigend oorlog voeren of voerden. Voorts stelde hij vast – eigenlijk een open deur – dat de mate van organisatie en centralisatie in directe relatie staat tot de algemene maatschappelijke centralisatie. Zo worden er bij tribale samenlevingen nauwelijks verdedigingswerken aangetroffen, verwoestingen zijn beperkt, er vallen relatief weinig slachtoffers, er is geen sprake van een speciale krijgserelite, het wapentuig is nog weinig gespecialiseerd en behalve het schild is er nauwelijks sprake van lichaamsbescherming in de vorm van pantsers en dergelijke.



10

Tribale oorlogvoering

Er zijn in de tribale oorlogvoering twee strategieën te onderscheiden: het groepsduel en de overval. Het groepsduel is het best bekend van de papoea's en is wel omschreven als een wat ruwe sportwedstrijd. Plaats, tijd en vorm van handeling zijn allemaal sterk gebonden aan re-

gels en afspraken. Groepen stellen zich tegenover elkaar op en werpen elkaar speren toe tot er een gewonde valt of men vindt dat het genoeg is. Een enkele keer kan het uit de hand lopen en ontaardt het duel in een slachtpartij waarbij ook slachtoffers onder de vrouwen en kinderen kunnen vallen. De duel-oorlog is een fraai voorbeeld van conflictbeheersing, waarbij het mechanisme niet perfect is en er dus af en toe een 'ongeluk' gebeurt.

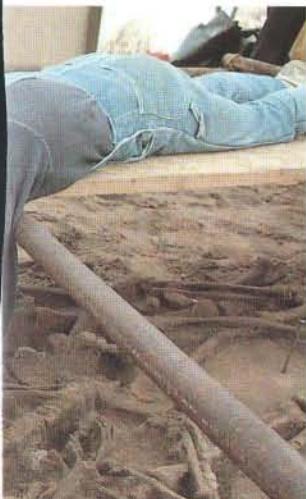
De overval is in onze ogen wat minder sportief. Het gaat om heimelijke overvallen, 't liefst 's-ochtends voor dag en dauw met als doel het roven van paarden, runderen of vrouwen. Er vallen regelmatig slachtoffers en zowel ouderen als kinderen worden daarbij niet gespaard. Toch gaat het er in het algemeen niet om te doden, al zijn er voorbeelden (de Jibaro in Amazonia) waarbij hele dorpsgemeenschappen doelgericht werden uitgeroeid.

Beide vormen van oorlogvoering zijn chro-

nisch en er is vaak geen echte reden voor aan te voeren. Aanleiding om de wapens op te nemen is vaak een futileit, zoals het stelen van een biggetje, of er is sprake van een eindeloze reeks van wraak en vergelding. Het is echter zelden een territoriaal conflict en dat is voor archeologen, die bij het zoeken van een verklaring nogal eens met bevolkingsdruk en territoriale motieven willen werken, nuttig te weten.

Het behoeft ons niet te verwonderen dat wij in de prehistorische archeologie maar zelden sporen van een dergelijke oorlogvoering aantreffen. Er wordt incidenteel eens een palissade opgericht en er is regelmatig sprake van valkuilen en wachttorens. Archeologische sporen daarvan zijn echter niet eenvoudig als zodanig te herkennen en zitten verscholen tussen de 'afvalkuilen' en 'spiekers' (graanschuurjes) van de onderzoekers!

Er is weinig bekend over de dodenverzorging na gevechten. Lewis Binford zegt echter in



11

9. Een reconstructietekening toont een nederzetting uit de Midden-Bronstijd in West-Friesland. Kenmerkend zijn de vrij lange boerderijen en de met sloot omgeven kavels. Op de hogere, zandige delen liggen de akkers en het vee graasde op de natuurlijke graslanden in de wijde, laag komgebieden.



10. Rond het graf werd een steigerwerk aangebracht, zodat men de centrale delen goed kon bereiken. Een groep studenten bracht zo enkele dagen door, liggend op de buik en gewapend met troffel, theelepel, kwast en plantespuit. Bovendien verrichtte een antropoloog de nodige waarnemingen tijdens de opgraving.

11. Maar weinig vondsten herinneren nog aan de uitgebreide prehistorische bewoning in het kustgebied. In 1907 vond men bij Voorhout achttien bronzen hielbijlen en een beitel, daterend uit het begin van de Midden-Bronstijd. Het doelbewust begraven van zulke waardevolle zaken ziet men tegenwoordig als

offeren door leidende figuren in een gemeenschap. Zo'n handeling zou statusversterkend zijn en daar-aan heeft zo'n persoon vooral behoefte in perioden van stress. 'Voorhout' en 'Wassenaar' lijken allebei een indicator voor maatschappelijke spanningen in het kustgebied rond circa 1700 v.Chr.

een beschouwing over grafpraktijken dat juist een bijzondere doodsoorzaak kan leiden tot een afwijkende behandeling en met name dat doden die te zamen vallen bij een epidemie of slachtpartij ook vaak als groep in een gemeenschappelijk graf worden begraven, vanwege de ongebruikelijke coïncidentie van hun overlijden. Het graf in Wassenaar lijkt uitstekend met deze beschrijving overeen te komen. De tribale oorlogvoering zelf is duidelijk een archeologisch slecht zichtbaar aspect van de voormalige samenleving.

Tribale oorlog in de prehistorie

Op grond van drie argumenten zou ik het etnografische beeld van algemene endemische oorlogvoering in tribale samenlevingen naar de prehistorie willen toepassen.

Ten eerste worden er voor endemische tribale oorlogvoering allerlei nuttige functies ge-

noemd: het bevordert de groepsbinding, het geeft mannen de gelegenheid tot wedijveren in moed en flinkheid, toekomstige leiders profielen zich en verwerven gezag en het geeft het nodige vertier in een vaak monotoon bestaan. Dit soort oorlog lijkt in hoge mate stabiliserend en blijkt ook niet altijd als iets verschrikkelijks te worden beschouwd. Vanwege de algemeenheid van oorlogvoering in subrecente tribale gemeenschappen en de sterke functionele aspecten ervan mogen we soortgelijke wijze van oorlogvoering ook in de sociaal overeenkomstige perioden van de prehistorie verwachten, dit wil zeggen in Neolithicum en Bronstijd.

Ten tweede is in de latere prehistorie (Late Bronstijd en IJzertijd) oorlogvoering archeologisch alom zichtbaar in de vorm van versterkingen, krijgersgraven, wapenmassa's op offerplaatsen en dergelijk. We hebben dan ook te maken met een meer gecentraliseerde en complexere organisatie, met de bijbehorende soort



12

12. In het veld werden op glasplaten de tekeningen vervaardigd van de afzonderlijke skeletten op een schaal van 1:1. Deze tekeningen werden vervolgens verkleind en samengevoegd tot een overzichtsplattegrond. Met behulp van de uitgeprepareerde blokken kon men deze tekeningen later corrigeren en aanvullen.

13. Een groep papoea's in oorlogsuitrusting verwelkomt bezoekers met een ceremoniële dans. Er blijken zekere overeenkomsten te zijn tussen de gewapende conflicten in Nederland en België tijdens de Midden-Bronstijd en de tribale oorlogvoering zoals deze wordt bedreven door huidige primitieve gemeenschappen.



van oorlogvoering. Die kan niet uit het niets zijn ontstaan, maar moet voorkomen uit eerder, meer eenvoudige en daardoor minder zichtbare, gewapende conflicten.

Ten derde zijn prehistorische groepsbegraafingen met min of meer duidelijke sporen van geweld, weliswaar niet erg talrijk maar wel wijd verspreid bij opgravingen ontdekt, uiteenlopend van Vroeg-Neolithicum (bandkeramiek) in Württemberg tot Laat-Neolithicum in Polen en Zuid-Frankrijk en Bronstijd in Engeland. Meestal zijn de doden onordelijk in een kuil geworpen. Wat dat betreft is het graf in Wassenaar, een van de jongste gedateerde voorbeelden, uitzonderlijk.

De ontwikkeling van de strijdbijl in de loop van het Neolithicum, incidentele omgrachting en palissadering vanaf de Late Bandkeramiek, defensieve nederzettingslokaties in meeroververs, venen of op heuveltoppen: ondanks het incidentele karakter daarvan passen zij, samen

met de genoemde groepsbegraafingen, bij het beeld van endemische oorlogvoering in de prehistorie in een tot nu toe sterk onderschatte omvang. De keuze tussen duel-oorlog en strooptochten is moeilijk te maken en moet van geval tot geval worden bezien. De runder-economie van de Nederlandse Bronstijd lijkt een goede context om aan vee-strooptochten te denken. Anderzijds kennen we elders uit Europese Bronstijd fraai ceremonieel wapentuig en is er een veel geciteerd voorbeeld van een uit de hand gelopen duel-oorlog van de Tsembaga op Nieuw-Guinea waarbij achttien doden vielen, waarvan zes vrouwen en kinderen . . . Dat lijkt toch wel erg veel op 'Wassenaar'.

Het was een gelukkig toeval dat ons te Wassenaar konfronteerde met één van de schaarse archeologische aanwijzingen voor gewelddadige onderlinge conflicten, die het leven van onze voorouders in Neolithicum en Bronstijd in sterke mate moeten hebben beheerst. De toenmalige bewoners van de lage landen waren bedreven in het hanteren van wapens en hebben deze wapens duidelijk niet alleen voor de jacht gebruikt. We hoeven ons dan ook geen illusies te maken over onze voorouders uit de Bronstijd als onderdeel van een vreedzame, idyllische samenleving die zich enkel bezighield met veeteelt en akkerbouw. Dank zij de antropologie kunnen wij ons voorzichtig een beeld vormen van de omstandigheden die leidden tot een groepsgraf nabij Wassenaar.



Literatuur

- Bloemers JHF, Louwe Kooijmans LP, Sarfatij H. Verleden land. Amsterdam: Meulenhoff Informatief, 1986, 2e druk.
Haan MAJ de, Sarfatij H, Schegget H ter. De kunst van het opgraven. Natuur & Techniek 1987; 55: 9, 722-733.

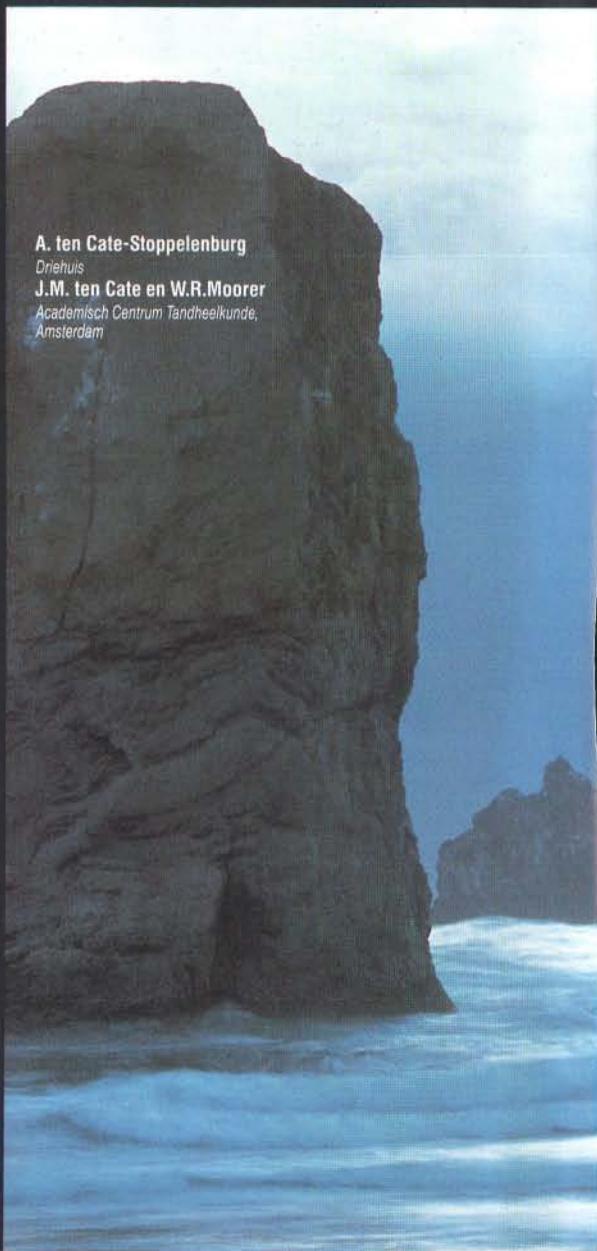
Bronvermelding illustraties

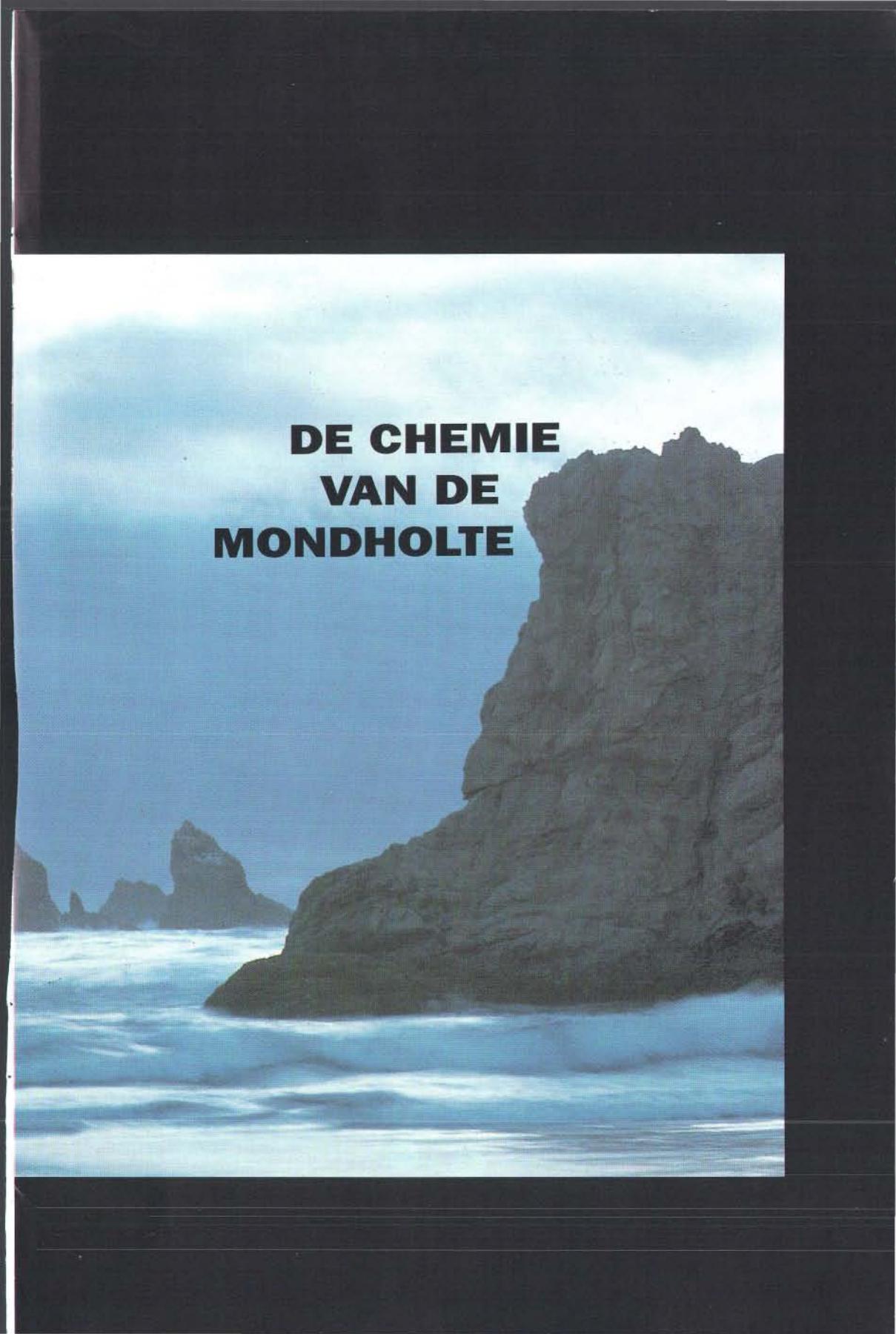
- W.G. Mook, Afd. Isotopenfysica, Rijksuniversiteit Groningen: 4.
R.O.B., Amersfoort: 7.
Koen van de Velden, Den Andel: 9.
H. Branden, Amsterdam: 11.
Koninklijk Instituut voor de Tropen, Amsterdam: 13.
De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.

ROTSSEN IN DE BRANDING

Vanuit het perspectief van een korrel chocolade hagelsgag moet de mondholte er uitzien als een glanzend wit gebergte in een klotsende branding. Dit ademenemende landschap strekt zich niet alleen aan zijn voeten uit, maar - gespiegeld langs de horizon - ook boven zijn hoofd. Zijn noodlot is dat diezelfde rotsen hem zullen verpletteren en hij als gruis zal worden meegevoerd op de golven. Heeft hij echter het geluk in een rustige baai achter te blijven, dan kan zijn wraak zoet zijn. Met bacteriën als bondgenoten kan de hagelsgagkorrel zijn belagers flinke schade toebrengen via een kleverige, zure afzetting die kan leiden tot ontstekingen, tandsteen, gaatjes of zelfs loszittende tanden. Op dergelijke chemische terreur past een chemisch antwoord: wapens als fluoride en moderne tandpasta's.

A. ten Cate-Stoppelenburg
Driebru
J.M. ten Cate en W.R. Moorer
*Academisch Centrum Tandheelkunde,
Amsterdam*





**DE CHEMIE
VAN DE
MONDHOLTE**

Ook voor de menselijke blik oogt het gebit als de spreekwoordelijke rots in de branding. Die betrouwbaarheid en onaantastbaarheid is schijn. Op molekulaire schaal is er een voortdurende wisselwerking tussen de tandweefsels en hun milieu — het speeksel en de in de mond voorkomende bacteriën. Om die invloeden over en weer te begrijpen is het nodig eerst de structuur en de materialen te leren kennen waaruit tand en speeksel zijn opgebouwd.

Levend gesteente

Tanden en kiezen zijn produkten van levende cellen en bestaan uit drie typen weefsels: glazuur, tandbeen en wortelcement. Die weefsels hebben met elkaar gemeen, dat ze zijn opgebouwd uit een driedimensionaal netwerk van organisch materiaal — de matrix — waarop zich mineralen hebben afgezet in de vorm van kristallen van calciumhydroxylapatiet ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). In dit artikel beperken we ons tot glazuur, het buitenste en hardste van deze drie structuren. De hardheid ervan weerspiegelt zich in de verhouding tussen de hoeveelheid matrix en mineraal: glazuur bevat maar één procent organische matrix, de rest bestaat uit apatietkristallen. De glazuurmatrix bestaat uit eiwitten en lipiden, en is vooral van belang tijdens de aanleg van het glazuur als de tand nog in de kaak verborgen zit. De matrix dient als mal voor de afzetting van mineraal, zoals zichtbaar is in het typische prismapatroon op SEM-foto's van glazuuroppervlakken (afb. 1).

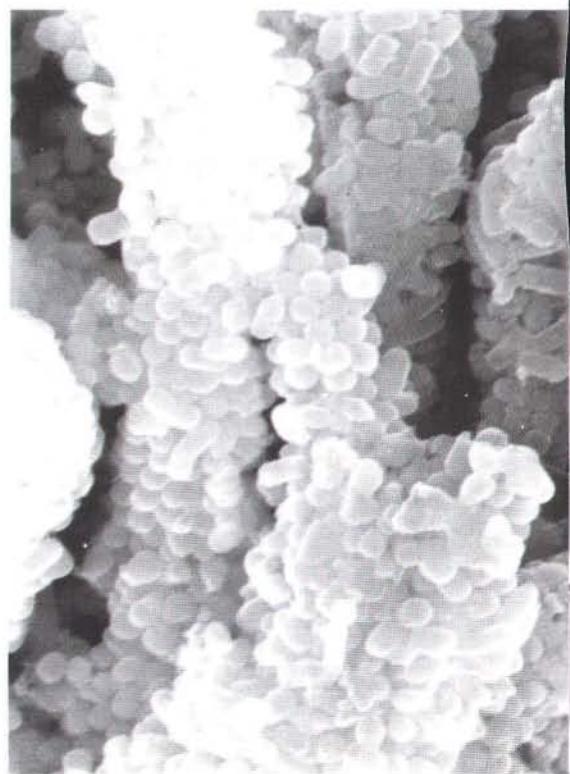
Nadat apatiet is afgezet bij de aanleg van een tand, ondergaat het in de loop van de tijd nog allerlei veranderingen. Omdat de apatietkristallen aan het glazuuroppervlak in contact staan met het speeksel, kunnen ionen vrijelijk worden uitgewisseld. Zuiver apatiet komt daarom niet in het gebit voor: uit de kristalroosters worden voortdurend ionen vervangen door ionen waarmee het speeksel oververzadigd is.

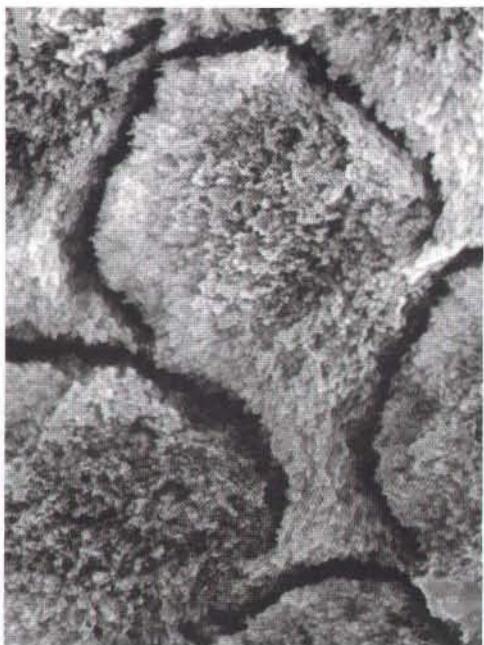
Het 'bloed' van de mondholte.

Dankzij drie paar speekselklieren stroomt dagelijks bijna een liter vers speeksel onze mond in. Elke minuut wordt de totale speekselhoeveelheid in het dunne filmje dat ons mondoppervlak bedekt — 0,03 mm dik — ververst. We staan er nauwelijks bij stil hoe onmis-

baar dat vocht is. Pas als de toevoer van deze vloeistof stagnert — zoals bij patiënten met beschadigde speekselklieren kan voorkomen — wordt het duidelijk dat we zonder deze vloeistof nauwelijks kunnen spreken, eten, proeven of slikken en ons gebit niet in goede conditie blijft (afb. 4). Speeksel beschermt vermoedelijk tegen vreemde bacteriën die zich in de mond willen vestigen. Bovendien is het een bron van talloze ionen en organische verbindingen, vooral eiwitten, waaronder diverse enzymen (zie Intermezzo I).

Door enzymatische afbraak en neerslag van organische componenten uit het speeksel vindt voortdurend afzetting plaats van een uiterst dunne ($0,3 - 1,5 \mu\text{m}$) macromoleculaire laag op tanden en kiezen: de *pellicle*. Deze laag moet het gebit beschermen tegen overmatige slijtage en directe inwerking van (voedings)stoffen. De pellicle heeft ook een keerzijde: hij vormt een aardig houvast voor bacteriën en kan daardoor uitgroeien tot de beruchte tandplaque.





1

Een soortrijke bevolking

Op niet goed gepoetste tanden en kiezen vormt zich binnen enkele dagen een dun wit laagje dat zich stevig aan het gebit hecht: de *plaque*. Het laagje bestaat voor zeventig procent uit bacteriën die zich als haringen in een ton tegen elkaar hebben genesteld (afb. 2). De tussenruimten vullen zij met hun produkten: kleverige koolhydraten en componenten uit het speeksel die zij hebben afgebroken. Plaque vormt een rijk ecosysteem: in een willekeurige mond kan de plaque meer dan 150 soorten bacteriën bevatten. Niet ieder mens bezit een bacterieflora van dezelfde samenstelling. Die hangt onder andere af van het gebruikte voedsel, de mondhygiëne en de samenstelling van het speeksel.

Wanneer tandplaque met rust wordt gelaten, kan na verloop van tijd een harde laag ontstaan die zich alleen door de tandarts of mondhygiënist laat verwijderen: *tandsteen*. In feite is tandsteen versteende plaque. In de bacteriën van de plaque hebben zich vermoedelijk de eerste

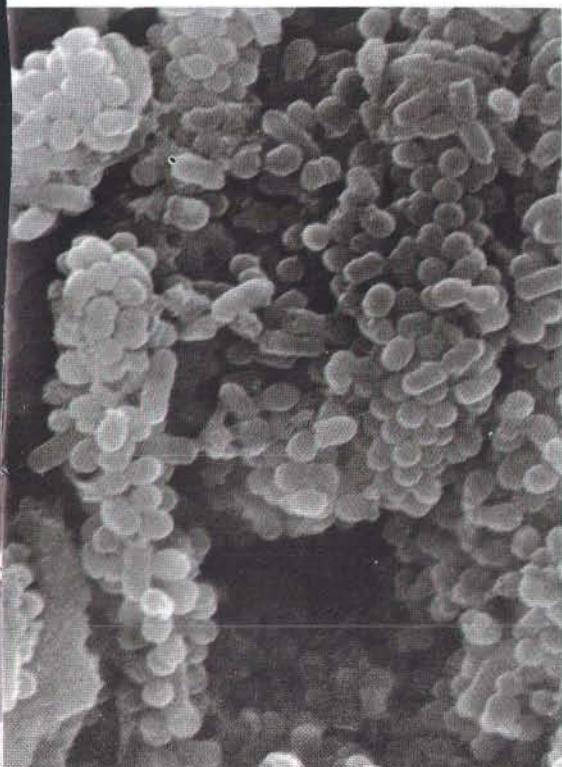


3

1. Als glazuur met een sterk zuur wordt aangeëet, wordt de prismastructuur blootgelegd. Ieder prisma (met een diameter van ongeveer zeven μm) ontstaat door de uitscheiding door glazuurvormende cellen van een organische matrix, waarin apatietkristallen (de fijne structuur in de prisma's) neerslaan. Er zijn lokale verschillen in zuurresistente van het glazuur. Op de grenzen tussen de prisma's lost het glazuur sneller op. Daardoor vindt ook de eerste aanval tijdens het cariësproces plaats.

2. Een scanning-elektronmicroscopische opname van het oppervlak van de tandplaque toont een grote hoeveelheid bacteriën. De bacteriën hebben zich gegroepeerd in een zogenaamde maïskolfstructuur.

3. Indien door bestraling of chemotherapie de speekselklieren niet (meer) functioneren kan dit snel leiden tot ernstige vormen van tandbederf.



kristallisatiekernen gevormd, vanwaar de kristallen verder uitgroeien. Wat chemische samenstelling betreft, lijkt tandsteen verrassend veel op de harde weefsels van de onderliggende tand of kies. Beide bestaan vooral uit calciumfosfaatmineralen met hydroxyapatiet als belangrijkste bestanddeel. De chemische preventie van tandsteen via tandpasta berust op de stof pyrofosfaat, een kristallisatieremmer.

Zure wisselwerkingen

Het is juist op de grens van plaque en tand (afb. 9) dat zich de kwalijke processen afspelen die kunnen leiden tot *cariës* (gaatjes), tandsteenvorming en tandvleesontstekingen. Voor een beter inzicht in het ontstaan van deze aandoeningen moeten we ons verdiepen in de chemische samenstelling van glazuur en plaque, daarbij niet vergetend dat de plaque zelf weer stoffen uitwisselt met het speeksel.

Het is algemeen bekend dat bacteriën in tandplaque verantwoordelijk zijn voor de productie van zuren, vooral melkzuur en azijnzuur, wanneer zij de daarvoor geschikte suikers of koolhydraten in de mond ter beschikking hebben. Deze zuren lossen het glazuur op door te reageren met het calciumhydroxylapatiet. De kristallen van dit mineraal worden afgebroken tot calcium- en fosfaationen.

In feite is dit een vereenvoudiging van de werkelijke situatie. Zoals reeds vermeld bevat apa-



5

5 en 6. Voor het bedwingen van de lekkere trek staan ons vele zoete lekkernijen ter beschikking (5). Bij het continu meten van de zuurgraad van de tandplaque blijkt dat na het eten van fermenteerbare suikers de pH daalt beneden een kritische waarde, waarna glazuur in oplossing gaat. Na circa een half uur is de zuurgraad weer normaal (6). De frequentie van het aantal zuurstoten bepaalt of ontkalking van het gebit optreedt. Bij een normaal

voedingspatroon wordt de kritische pH slechts driemaal per dag bereikt. Zoete tussendoortjes kunnen een vernietigend effect op het gebit hebben.

7. Bij de ontwikkeling van cariës begint het tandbederf zonder dat dit duidelijk van de buitenkant te zien is. Een van de eerste verschijnselen is het ontstaan van een witte vlek. Deze coupes tonen de verdere uitbreiding van de cariës in de tand.



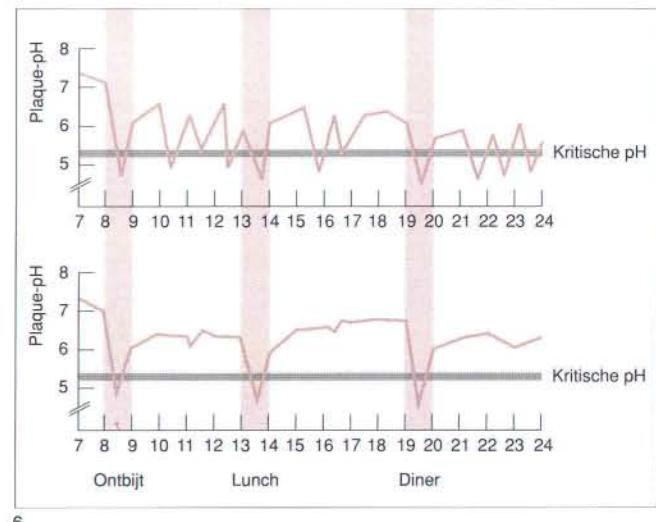
4

4. Als men het poetsen enige malen achterwege laat, ontstaat een wit laagje op het gebit. In 1683 ontdekte Antoni van Leeuwenhoek

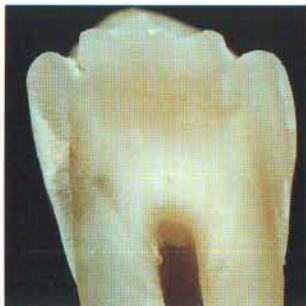
met behulp van zijn eenvoudige microscoop 'de dierkens op de tanden', bacteriën, die rondzwerven in de tandplaque.

tiet allerlei onzuiverheden in het kristalrooster. Carboonaationen kunnen de plaats innemen van fosfaat- of hydroxylionen; fluoride-ionen verwisselen van plaats met hydroxylionen. Dergelijke verontreinigingen hebben invloed op de oplosbaarheid, dus op de kwetsbaarheid voor zuurinwerking. Carboonaationen maken glazuur zwakker, fluoride-ionen maken het glazuur juist resistenter.

Glazuur is niet 'waterdicht': de ruimte tussen de prisma's en de kristallieten maakt diffusie van opgeloste stoffen mogelijk. Toch kent het buitenoppervlak van glazuur meer uitwisseling dan verder naar binnen gelegen gebieden en daardoor raakt het sneller bestand tegen zuurinwerking. Het eerste mineraal dat door bacterieel zuur zal worden opgelost ligt dus niet aan, maar juist onder het oppervlak. Er ontstaat een



6



7a



7b



7c

poreuze plek (*laesie* of witte vlek genoemd), ongeveer 30 μm onder het glazuuroppervlak (afb. 7). Een dergelijke laesie kan tenslotte een echt gat worden als het laagje glazuur erboven instort, maar zover hoeft het niet te komen. Vanuit het speeksel kunnen immers nieuwe mineralen op de open plekken in het glazuur worden afgezet, een proces dat men *remineraliseren* noemt (zie Intermezzo II).

Afbraak en herstel

Afhankelijk van de zuurgraad in de tandplaque kan glazuur dus oplossen of worden gereminaliseerd, een proces dat zich dagelijks in de mond afspeelt. Tenminste, wanneer de perioden van 'zuurstoten' worden afgewisseld met voldoende lange perioden waarin het glazuur

zich kan herstellen (afb. 6). Dit is er de reden van dat de hagelslagverslaafde beter ineens zijn boterham kan volleden en nuttigen in plaats van elk half uur een bescheiden hapje te nemen.

Afbraak en herstel van het glazuur zijn in een gezonde mond met elkaar in balans. Stoffen uit het speeksel helpen daarbij een handje. Bijvoorbeeld door het door bacteriën gevormde zuur te bufferen of de condities voor bacteriengroei te verslechtern. De buffercapaciteit wordt voor negentig procent verzorgd door het bicarbonaat (HCO_3^-) dat in speeksel voorkomt. Het aanwezige ureum, ammonia en nog een 'pH-verhogingsfactor' met een laag molekulogewicht nemen de rest voor hun rekening. Zeer belangrijk zijn ook de gehalten aan calcium- en fosfaatketens in het speeksel die een 'tendendruk' geven voor het oplossen van apa-

Speeksel

Het speeksel heeft een verrassend groot aantal functies. De meest bekende daarvan is waarschijnlijk die van schakel in de voedselvertering: het enzym amylase breekt de restjes zetmeel af die na een maaltijd in de mond zijn achtergebleven. Uit eigen ervaring zal iedereen het belang van speeksel als smeermiddel kennen. In een droge mond kan de tong niet goed bewegen en gaat het praten moeilijk. Ook een voedselbrok laat zich zonder speeksel niet doorslikken. Voor deze smeerwerking dienen de mucinen (glycoproteïnen met geladen sialzuurresten) die de vloeistof licht visceus maken.

Speeksel speelt tevens een belangrijke rol in de mineraalhuishouding van het gebit. Behalve de hierbij betrokken calcium- en fosfaatketen (die bij oververzadiging in oplossing worden gehouden door het fosfoproteïne statherine) vinden we bovendien natrium-, kalium-, chloor- en bicarbonaatketen in speeksel. De bicarbonaatketen hebben een belangrijk

zuurbufferend, en dus een cariësremmend effect. Eenzelfde effect wordt hier bereikt met behulp van ureum, ammonia en een laagmolekulaire speekselcomponent, die vanwege de functie 'pH-verhogingsfactor' wordt genoemd.

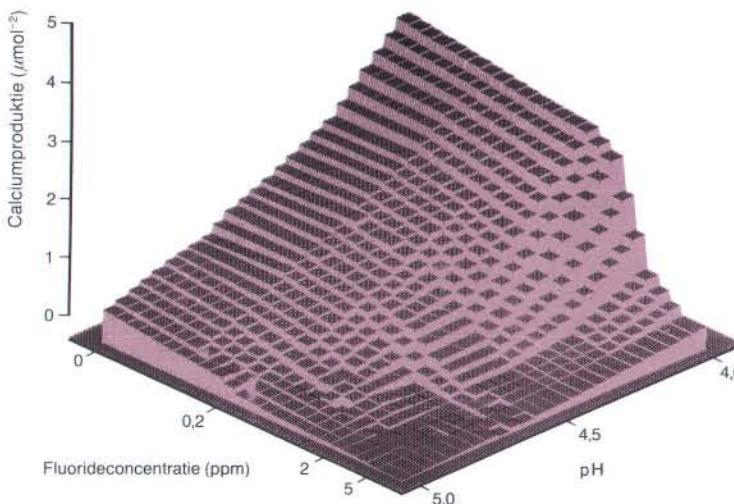
Het is opvallend dat, ondanks de aanwezigheid van al deze ionen, het speeksel sterk hypotonisch is ten opzichte van bloedplasma. Dit heeft te maken met een minder bekende functie van het speeksel: het lage zoutgehalte stelt de mens in staat subtiel te proeven, iets wat bij de hoge elektrolytgehalten van het bloedplasma of het weefselvocht onmogelijk zou zijn. Voor de smaakgewaarwording is ook de stof gustine van belang, een zeer klein eiwit dat zink bevat.

Een aantal stoffen in het speeksel hebben een bacterie-remmende werking, doordat zij mondbacteriën doden of ingrijpen in hun metabolisme. Het porfyriene-eiwit lactoferrine vangt het voor bacteriën essen-

tiet: hoe meer van deze ionen in het speeksel komen, des te trager zal apatiet oplossen.

Diverse bestanddelen van het speeksel vervullen een actieve rol bij de bestrijding van mondbacteriën (zie Intermezzo I). Naast enzymen komen in het speeksel ook antistoffen voor. Deze blijken echter in de menselijke

mond weinig effectief. Weliswaar bleek het bij proefdieren (ratten) mogelijk hen te immuniseren tegen enkele schadelijke mondbacteriën, maar dat resultaat lijkt vooralsnog bij de mens niet haalbaar. Helaas, want hoe prettig zou het niet zijn om door een simpele injectie voorgoed van cariës verlost te raken?



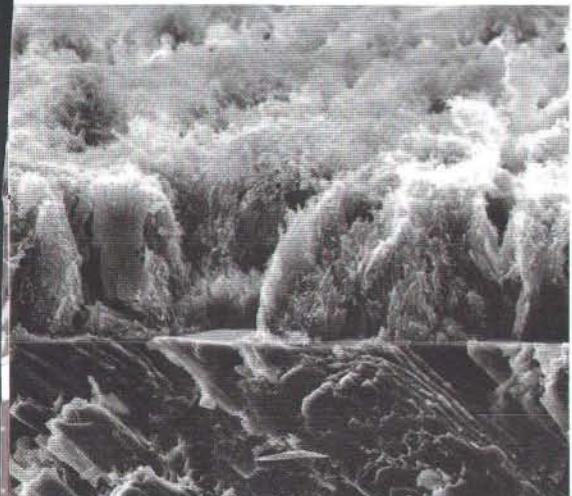
INTERMEZZO I

tiële element ijzer weg. Het enzym lysozym (niet voor niets ook aanwezig in traanvocht en witte bloedcellen!) doodt bacteriën door hun celwand af te breken. De antistoffen, hoewel in geringe concentraties aanwezig in speeksel, spelen een rol in het natuurlijke afweersysteem tegen lichaamsvreemde cellen, in dit geval de mond bacteriën. Het enzym lactoperoxidase doodt weliswaar geen bacteriën, maar is in staat met behulp van thiocyanationen hun zuurvorming te blokkeren.

Een weinig bekende, maar belangrijke taak van speeksel is die van schakel in de vorming van de beschermende coating van het gebit: de pellicle. De proline rijke glyco- en fosfoproteïnen zijn kleine, geladen eiwitten die een rol spelen bij de hechting van de macromolekülen van de pellicle aan het glazuur oppervlak. Het eiwit albumine tenslotte, dat we ook in bloed aantreffen, zorgt voor het stabiliseren van de andere spekseleiwitten.

8. Het verband tussen zuurgraad, fluorideconcentratie en het oplossen van calcium in synthetische 'tandplaque' geeft men weer in een grafiek. Glazuur lost beter op in een zuurdere oplossing. Kleine hoeveelheden fluoride verlagen de kritische pH.

9. Tussen glazuur en tandplaque bevindt zich de pellicle, een macromoleculaire laag die het gebit beschermt. Deze dunne laag is in een elektronenmicroscopische opname van het zijaanzicht van glazuur en tandplaque niet afzonderlijk waarneembaar.



10

10. De prisma's in het glazuur kan men schematisch weergeven als gestapeld staven. Door de inwerking van zwakke zuren vindt

ontkalking vooral iets onder het glazuuroppervlak plaats. De buitenkant van het glazuur lijkt dan nog onaangetast.

Werk voor (bio)chemici?

Natuurlijk is het voorkomen van gaatjes in het gebit allereerst een zaak die thuishoort in de spreekkamer van de tandarts. Of, nog beter, voor de spiegel (en niet te vergeten de buis) thuis. Zoals al eerder gezegd is vooral het voortdurende gesnoep tussen de maaltijden door de grote boosdoener. Ook de poetsgewoonten van de gemiddelde Nederlander zijn nog voor veel verbetering vatbaar. Maar gedragsverandering is een moeizaam proces. Vandaar dat er toch veel behoeft blijft aan onderzoek naar de mechanismen die bij cariës en tandsteenvorming een rol spelen. Uit zulk onderzoek ontstaan dan weer ideeën hoe die mechanismen te beïnvloeden zijn met goed gekozen chemische ingrepen. Recepten voor speciale tandpasta's bijvoorbeeld. Inmiddels heeft de tandpasta-industrie een hele nieuwe generatie pasta's het licht doen zien, die voortbouwen op dit soort onderzoek. Tandpasta's tegen cariës uiteraard, maar ook pasta's speciaal ontwikkeld voor tandvleesproblemen, tegen tandsteenvorming of voor gevoelige tandhalzen.

Het is al langere tijd bekend dat fluoridegebruik het tandglazuur meer zuurresistenter maakt. De volgende vragen waren echter nog

onbeantwoord: hoeveel fluoride heeft men nodig, welk type fluoride is het meest geschikt, wanneer moet men het fluoride toedienen en in welke vorm, en helpt fluoride ook bij beginnende cariës? Chemisch onderzoek dat het laatste decennium op tandheelkundig gebied werd uitgevoerd, heeft opheldering verschafft.

Zo bleek dat aan de invloed van fluoride op het glazuur meerdere kanten zitten. Toediening van grote doses fluoride bij (kleine) kinderen zorgt voor ruime inbouw ervan in de buitenste laag glazuur. Toch heeft recent onderzoek aangegetoond, dat er geen omgekeerd evenredig ver-

11. Cariës kan met name ontstaan in de fissuren: de groeven in het kauwvlak van een kies. Een moderne methode om deze vorming van gaatjes tegen te gaan, is het afdichten van deze spleet met zogenoemde sealants, ofwel fissuurlakken.



11

band bestaat tussen de hoeveelheid ingebouwd fluoride en het voorkomen van gaatjes. 'Hoe meer fluoride des te beter' gaat dus kennelijk niet op. Dat komt omdat ook glazuur met veel ingebouwd fluoride nog kan oplossen, zeker als er in het speeksel nauwelijks fluoride aanwezig is (het reeds genoemde 'tegendruk'-beginsel).

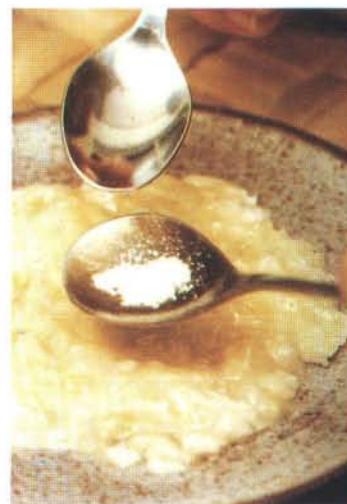
Het blijkt dat fluoride zeer effectief is als het met grote regelmaat in lage concentraties in de mond aanwezig is. Dat wil zeggen bij dagelijkse fluoridespoelingen en tandpastagebruik. Zelfs fluorideconcentraties in het sub-ppm-gebied (0,01 – 1 milligram fluoride per liter) beïnvloeden de snelheid waar mee glazuur oplost of remineraliseert. De reden hiervoor is dat in die gevallen het minder oplosbare fluorapatiet kan ontstaan, dat bij de remineralisatie in verhoog-

Apatiet en zuurgraad

De processen die een rol spelen bij het ontstaan van cariës volgen eenvoudige fysisch-chemische wetmatigheden. Het oplossen en neerslaan van glazuur wordt in principe bepaald door de over- of onderverzadigheid van speeksel en plaque voor wat betreft het mineraal hydroxylapatiet. De verzadigingsconcentratie van de glazuurcomponenten in oplossing (calcium- of fosfaat) is afhankelijk van de pH (zie de lijn getrokken voor hydroxylapatiet). Dit komt doordat de concentratie van zowel de fosfaat (PO_4^{3-}) als de hydroxylionen (OH^-) pH-afhankelijk is. Beide typen ionen worden bij lagere pH geprotoneerd, hetgeen leidt tot lagere concentraties PO_4^{3-} en OH^- .

Door de inbouw van verontreinigingen in het apatietkristalrooster en de gevolgen die dit heeft voor de oplosbaarheid, wordt de verzadigingsconcentratie voor glazuur aangegeven als een brede band. Deze bestaat feitelijk uit vele parallel lopende verzadigingslijnen van apatiet, waarbij de samenstelling van apatiet steeds iets wisselt.

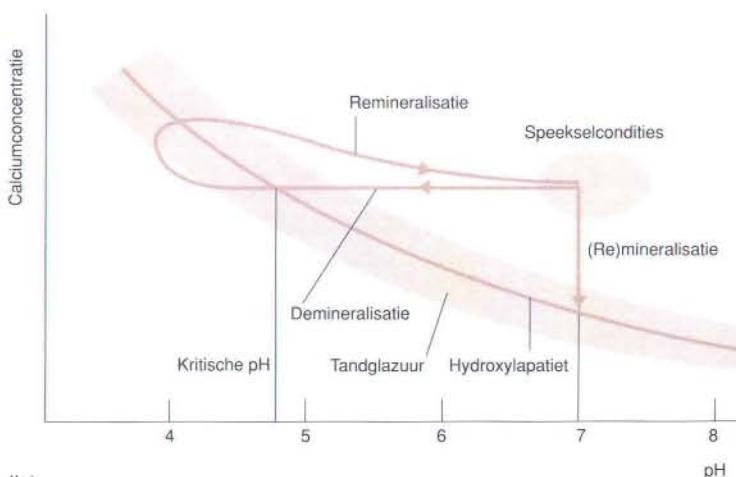
Het (kruiseling) gearceerde gebied markeert de calciumconcentratie in speeksel en tandplaque. Ook deze concentratie is niet als een enkel punt weer te geven vanwege de verschillen tussen individuen en de variaties in de tijd. Bij neutrale pH is het speeksel oververzadigd ten opzichte van apatiet en kan er mineraal neerslaan. Dit gebeurt bij (re)mineralisatie en bij tandsteenvervorming. Na het eten van (fermenteerbare) suikers en bij aanwezigheid van bacteriën komen zuren vrij, waar-



12



13



II-1

door de zuurgraad van de tandplaque daalt. Bij een bepaalde waarde (vaak aangeduid als de kritische pH) raakt de oplossing onderverzadigd aan apatiet en begint het tandglazuur op te lossen. Daardoor, en omdat de voordurende speekselvloed bufferend werkt, begint de zuurgraad na ongeveer tien minuten te stijgen. Binnen veertig minuten is de uitgangssituatie weer bereikt.

Tijdens het traject van zuur naar neutraal zal een deel van de opgeloste glazuurbestanddelen weer

(Re)mineralisatie

II-1. Na daling van de zuurgraad van de tandplaque door een zuurstoot tot beneden de kritische zuurgraad gaat apatiet in oplossing. Door de bufferende werking van speeksel en het oplossen van het glazuur stijgt de zuurgraad weer. Vervolgens kan een deel van het apatiet weer neerslaan.

neerslaan, eventueel in een andere chemische samenstelling dan die van het oorspronkelijke weefsel, bijvoorbeeld met meer fluoride. Deze 'kringloop', die plaatsvindt na ieder gebruik van suikers, zal zo- doende leiden tot een geleidelijke ombouw van de buitenste lagen van het glazuur. De inbouw van fluoride-ionen in het kristalrooster heeft tot gevolg dat de kritische pH een steeds lagere waarde aanneemt, waardoor de tanden steeds beter bestand zijn tegen 'zuurstoten'.

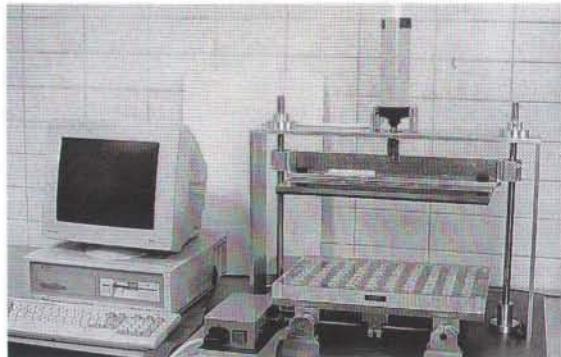


12. Voorkomen is beter dan behandelen. De kritische zuurgraad van het glazuur kan men verlagen door extra fluoride aan het dagelijkse menu toe te voegen. Niet alle kinderen houden van het kauwen op deze pilletjes. Soms moeten ouders fluoridetabletjes verstopen in een fruitlapje om het gebit van kinderen te vrijwaren van gaatjes.

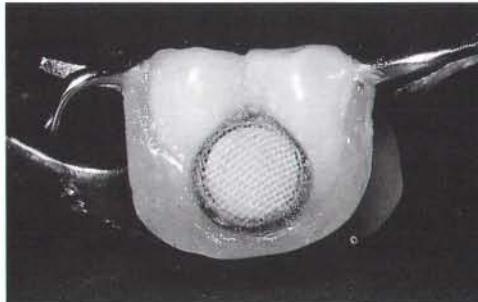
13. Bij een goede mondverzorging hoort het minimaal tweemaal daags poetsen van het gebit. Tandpastafabrikanten leveren een groot scala aan pasta's. Eerst waren deze bedoeld voor mooie tanden en een frisse adem, toen introduceerde men fluoride tegen gaatjes en nu voegt men ook nog pyrofosfaat tegen tandsteen toe.

de mate zal neerslaan. Bij de ontkalking zal het juist neerslaan op die plaatsen waar glazuur in oplossing gaat. Plaatselijk wordt namelijk wel het oplosbaarheidsproduct van fluorapatiet overschreden maar niet dat van hydroxylapatiet. Afbeelding 8 illustreert de rol die de fluorideconcentratie speelt in het mondmilieu tijdens een zuurstoot.

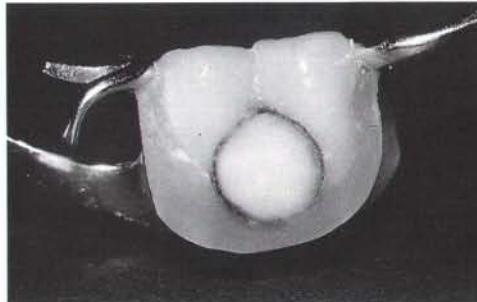
Fluoride kan bovendien de stofwisseling van bacteriën beïnvloeden. Bij hoge fluorideconcentraties gaan de bacteriën dood, terwijl bij concentraties tussen 3 en 50 ppm de bacteriegroei en de zuurvorming worden geremd.



14



15



16

Tandpasta's met fluoride

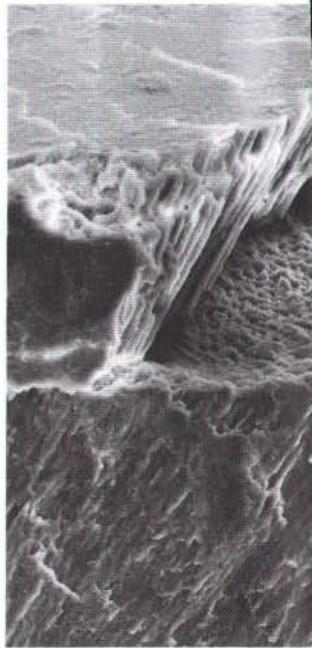
Wat betreft het type fluoride, kan men kiezen uit tinfluoride (SnF_2), monofluorfosfaat ($\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$) en natriumfluoride (NaF). De reactie van deze verbindingen met het glazuur verschilt. Oorspronkelijk gebruikte men natriumfluoride vooral in spoelvloeistoffen. Die moesten echter, vanwege de instabiliteit van deze stof, steeds vers worden aangemaakt. Evenzo was het onmogelijk tandpasta's met natriumfluoride te ontwikkelen omdat deze verbinding snel adsorbeerde aan het krijt dat als slijpmiddel in tandpasta's werd toegepast. Daardoor kwam het fluoride tijdens het poetsen niet vrij in het speeksel.

De onderzoekers probeerden fluoridehoudende verbindingen te vinden die deze nadelen niet vertoonden. Monofluorfosfaat en tinfluoride bleken aan de gestelde voorwaarden te voldoen. De eerstgenoemde stof wordt enzymatisch afgebroken in fluoride- en fosfaat- ionen die beide een gunstig effect hebben op de

14. Bij het onderzoek naar het ontstaan van cariës maken onderzoekers gebruik van een 'kunstmond', een computergestuurde opstelling waarin glazuurpreparaten aan in de mond voorkomende pH-schommelingen worden blootgesteld.

15 en 16. In een frameprothese is een stukje glazuur geplaatst. Door over het glazuur dunmazig inert gaas te spannen, wordt de afzetting van tandplaque op dit glazuur bevorderd. Na afloop van een periode in de mond kunnen veranderingen in het glazuur met diverse technieken worden geregistreerd.

17. Een deel van een $100 \mu\text{m}$ dikke, oppervlakkige laesie is afgebroken. De prismestructuur van het glazuur is op de breukplaats goed te herkennen.



17

mineraalbalans aan het glazuropervlak. Tin-
ionen, die vrijkomen tijdens het uiteenvallen
van tinfluoride, blijken een antibacteriële wer-
king te hebben. Kortgeleden heeft men tand-
pasta's ontwikkeld met silica (siliciumdioxide,
kiezel) als slijpmiddel, zodat natriumfluoride
ondertussen wel succesvol aan tandpasta's kan
worden toegevoegd.

Hoewel de tandpastaproducten in hun ad-
vertentiecampagnes elkaar met elk hun eigen
type fluoride om de oren slaan, heeft klinisch
onderzoek aangetoond dat deze fluoridever-
bindingen allemaal effectief zijn tegen cariës. In
Nederland en België komen vooral tandpasta's
op de markt met een combinatie van natrium-
fluoride en monofluorfosfaat of met enkel na-
triumfluoride.

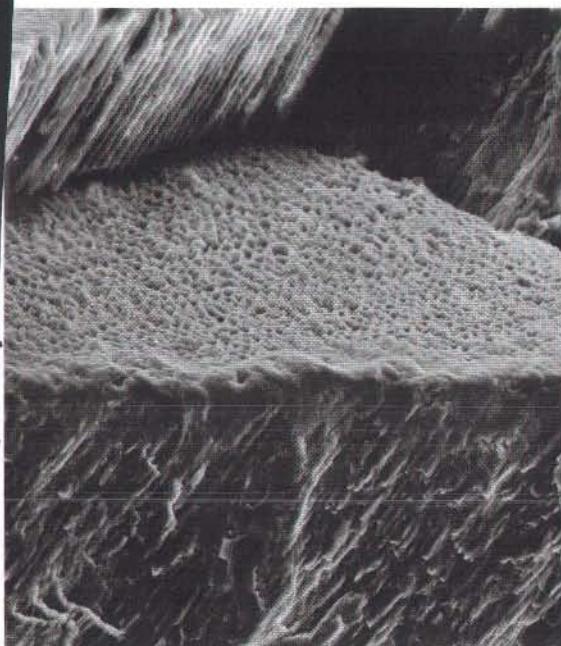
Proefglazuur

Omdat inmiddels zoveel over de minerale
weefsels en het speeksel bekend is, kunnen we-
tenschappers in fysisch-chemisch onderzoek
gericht speuren naar behandelingen die cariës
voorkomen. In het laboratorium kunnen bij-
voorbeeld in een proefopstelling de schomme-
lingen van de zuurgraad in de mond worden na-

gebootst. Bij dit onderzoek registreert men in
welke mate cariës optreedt en hoe preventieve
behandelingen dit afbraakproces tegengaan
(afb. 14).

Stukjes 'proefglazuur' kunnen ook in de
menselijke mond worden getest. Die stukjes
glazuur zet men dan in een zogenaamde frame-
prothese, die de proefpersoon gedurende een
bepaalde tijd in de mond draagt. Een dergelijke
proefopzet is een bruikbare schakel tussen la-
boratoriumonderzoek en grootschalig opge-
zette klinische onderzoeken waarbij de ontwik-
keling van cariës wordt bekeken bij gebruik van
een bepaald type tandpasta of een andere pre-
ventieve handeling. Deze laatste onderzoeken
omvatten grote groepen proefpersonen (vaak
schoolkinderen) die over een lange periode
(meestal 3 jaar) worden gevolgd. Een dergelijke
opzet is vanzelfsprekend arbeidsintensief en
duur. Genoeg reden dus om naar bruikbare
aanvullingen te zoeken zoals de hierboven be-
schreven methoden.

'Onaantastbare rotsen' kan zelfs het cariës-
onderzoek dus niet bieden, maar aan chocolade-
consument zowel als chocoladefabrikant wel
het zorgeloze genot van een goedbelegde bot-
terham.



Bronvermelding illustraties

Met dank aan dr W.L. Jongbloed en dr A. Vissink, Rijks-
universiteit Groningen, voor het beschikbaar stellen van il-
lustraties waaruit voor dit artikel een keuze kon worden ge-
maakt.

Fotostock, Amsterdam: pag. 760-761.
Ivoren kruis: 4, 5, 12.

Dr W.L. Jongbloed, Vakgroep Histologie en Celbiologie,
Rijksuniversiteit Groningen: 1, 2, 9, 17.

Dr A. Vissink, Kliniek voor Mondziekten, Kaakchirurgie en
Bijzondere Tandheelkunde, Academisch Ziekenhuis Groningen: 3.

De illustraties 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15 en 16 zijn afkomstig van
de auteurs.

Literatuur

Backer Dirks O, 's-Gravenmade EJ e.a. Fluoridering - Kie-
zen of trekken. Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschap-
pen en Maatschappij 1978; 4, 3.
Mikx FHM. Tandyleesontsteking - 'Dierkens' in de mond-
holte. Natuur & Techniek 1984; 52: 10, 770-781.

De heersende kosmologische theorie, de oerknaltheorie, vertelt ons dat het heelal tussen de vijftien en twintig miljard jaar geleden ontstond. Na de oerexplosie verspreidden materie en energie zich in alle richtingen. De werking van de zwaartekracht op materie resulteerde daarna in de vorming van sterrenstelsels. Is deze theorie juist? Een groeiende groep kosmologen blijkt aanhanger te zijn van de plasmatheorie. In deze hypothese kent het heelal geen begin en geen einde, en is het de elektromagnetische kracht die het heelal beheert.

EEN EINDELLOZE PLASMAZEE

Het heelal bestaat vermoedelijk voor 99,999% uit plasma. In ons zonnestelsel is de zon de voornaamste bron van actief plasma. Atomen worden daar door de hoge heersende temperaturen ontdaan van hun elektronen. Tegelijkertijd worden elektronen, protonen en heliumatomen uit de buitenste laag van de corona gestoten in een continue plasmastroom die de zonnewind wordt genoemd. Het noorderlicht, Aurora Borealis, ontstaat als geladen deeltjes worden ingevangen door het magneetveld van de aarde. Via langs het magnetisch veld gerichte stromen spiralliseren de deeltjes omlaag naar de magnetische polen. Door de interactie met de dampkring ontstaan de prachtige lichteffecten.

Anthony L. Peratt

*Los Alamos National Laboratory
New Mexico, V.S.*

HEELAAL ZONDER KNAL

Volgens het oerknalmodel is de materie nu op grote schaal uniform over het heelal verdeeld, hoewel er kleinere materie- en energiefluctuaties moeten zijn geweest in de oorspronkelijke samenstelling van de kosmische oersoep. Uit deze dichtheidschommelingen ontstonden onder invloed van zwaartekracht verspreide gaswolken die uiteindelijk ineinstortten onder hun eigen gewicht. Klontjes materie verdichten zich, groeiden aan en ontwikkelden zich onder invloed van zwaartekracht tot alle objecten die we in het heelal waarnemen: planeten, sterren, sterrenstelsels en superclusters van sterrenstelsels met een doorsnee van miljoenen lichtjaren.

Bewijzen voor een oerklan

De oerklantheorie kreeg grote aanhang in wetenschappelijke kringen omdat zij met succes een aantal lang geleden verrichte astrofysische waarnemingen verklaarde. Zo merkte in 1929 de Amerikaanse astronoom Edwin P. Hubble op dat het leek alsof de kleur van diverse sterrenstelsels was verschoven naar het rode of langgolvige deel van het spectrum. Deze roodverschuiving van een spectrum wordt veroorzaakt door het Doppler-effect en valt te vergelijken met het lager worden van de toon van een claxon van een passerende auto. Kosmologen leidden uit deze roodverschuiving af dat de sterrenstelsels zich van ons verwijderden — een verschijnsel dat volgens de aanhangers van de oerklantheorie een gevolg is van de oorspronkelijke oerexplosie. Het model verklaart ook waarom er grote hoeveelheden helium en andere elementen met kleine massa in het heelal worden aangetroffen dan mogelijkerwijze in het hete

binnenste van de bestaande sterren kunnen zijn gevormd: deze lichte elementen ontstonden uit waterstof tijdens de eerste, intens hete ogenblikken van de oerknal.

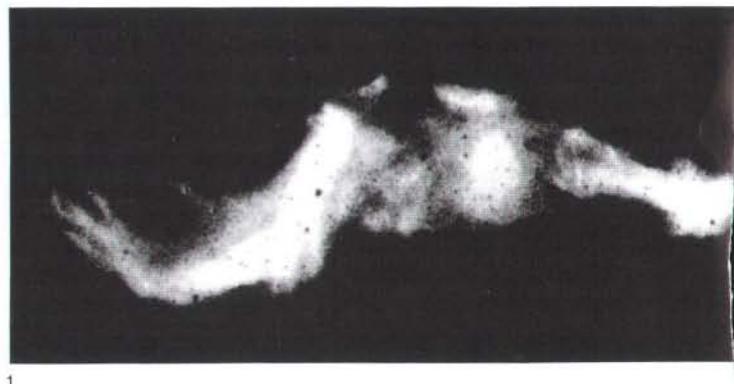
De oerknalkosmologie bleek een grote voorpellende waarde te hebben. In 1948 berekenden astronomen dat de straling die bij de oerexplosie was opgewekt, nu moest zijn afgekoeld tot straling met een temperatuur tussen de zes en de dertig kelvin en uniform verspreid door het heelal moest zijn. Zeventien jaar later ontdekten twee radiotechnici microgolfstraling bij een temperatuur die ongeveer drie graden boven het absolute nulpunt leek te liggen. Een gelijkmataige ruis uit alle richtingen van de hemel leverde het schijnbaar onweerlegbare bewijs voor de oerknal. Tegen het eind van de jaren zestig aanvaardde vrijwel iedereen de oerknalthorie en de theorie is nu zo diep doorgedrongen, ook bij het grote publiek, dat men soms wel eens vergeet dat het hier nog steeds gaat om een hypothese.

Alhoewel de theorie veel successen heeft geboekt, moeten voorstanders van de oerknal de laatste tijd inzien dat een groeiend aantal waarnemingen niet met de theorie overeenstemt. Bovendien zijn er problemen die men met dit model nog steeds niet kan oplossen.

In al deze gevallen lijken de problemen te ontstaan door de fundamentele aanname dat in de oerknalthorie zowel binnen sterrenstelsels als in het heelal als geheel, de zwaartekracht de enige kracht is die gewicht in de schaal legt. Zwaartekracht zal echter pas de overhand hebben wanneer sterkere krachten zijn uitgeschakeld. Elektromagnetisme is bijvoorbeeld 10^{39} maal zo sterk als de zwaartekracht. Als de overheersende materievorm wordt onderworpen aan zowel de elektromagnetische kracht als aan de zwaartekracht, dan overheersen sterkere trek- en duwkrachten van het elektromagnetisme de zwaartekracht.

Kosmologen laten niet graag een bruikbare theorie in de steek zonder dat er een beter alternatief is en we moeten toegeven dat onder as-

trofysici de oerknalthorie nog steeds algemeen aanvaard is. Maar veel fysici die de materietoestand bestuderen die *plasma* heet, geloven nu dat ze een betere verklaring kunnen geven voor de structuur en wellicht ook het ontstaan van het heelal. Plasma's bestaan uit elektrisch geladen deeltjes en voelen dus zowel de elektromagnetische kracht als de zwaartekracht. Zij vormen ook de overheersende materievorm in het heelal. Op aarde zijn plasma's meestal verschijnselen van korte duur. In de ruimte echter zijn zij veel stabiever. Toch had vóór de tijd waarin ballonnen en raketten de bovenste lagen van de atmosfeer begonnen te onderzoeken, maar enkele wetenschappers enig vermoeden van de aanwezigheid van buitenaardse plasma's.



1

Dertig jaar ruimteonderzoek heeft aangegetoond dat het zonnestelsel een echte plasmazee is die, onzichtbaar voor optische telescopen, niettemin wordt doorkruist door ingewikkelde, met elkaar wisselwerkende elektrische en magnetische velden. De beweging van plasmadeeltjes in een elektromagnetisch veld noemt men nu een Birkelandstroom, naar de Noorse onderzoeker die dit verschijnsel aan het eind van de negentiende eeuw onderzocht. Houden deze plasmaverschijnselen abrupt op bij de drempel van het zonnestelsel?

De Zweedse natuurkundige Hannes Alfvén, die in 1970 de Nobelprijs voor Natuurkunde won, beweert het tegenovergestelde. Hij heeft

Plasma**INTERMEZZO**

De plasmatoestand wordt beschouwd als een vierde aggregatietoestand; een plasma is niet vast, vloeibaar of gasvormig en lijkt nog het meest op een gas. Maar in tegenstelling tot een gas, dat uit elektrisch neutrale componenten bestaat, bestaat een plasma uit geladen deeltjes. Een plasma kan ontstaan tijdens verhitting van een gas tot zulke hoge temperaturen dat het geheel of gedeeltelijk geïoniseerd raakt: de atomen in het gas verliezen elektronen, waarna negatief geladen vrije elektronen en positief geladen ionen overblijven. De ionen zijn kale atoomkernen en kernen die nog een aantal elektronen hebben behouden.

We vinden ook plasma's in metalen bij gewone temperaturen: de geleidingselektronen in het metaal, die vrij kunnen bewegen door het strakke kristalrooster van metaalatomen, vormen een plasma. Dankzij de vrije elektronen is een plasma een bijzon-

der goede elektriciteitsgeleider. Een bekend plasma is te vinden in een brandende neonlamp.

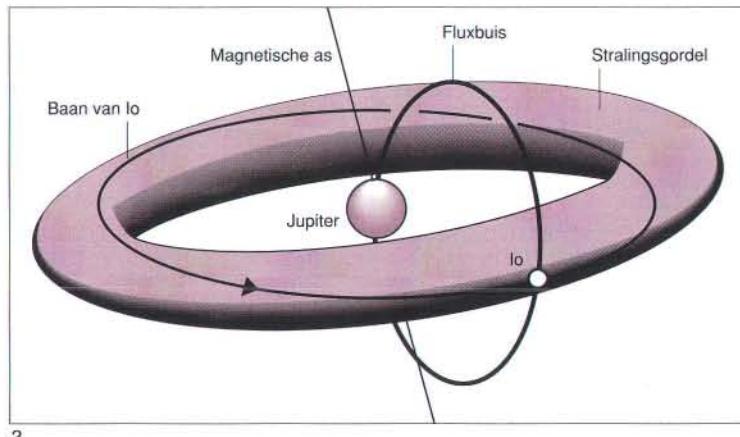
Een van de meest dramatische verschijningsvormen van een plasma is bliksem. In een opkomend onweer ontstaan gebieden met negatieve elektrische lading langs de onderkanten van de wolken. Deze negatieve gebieden veroorzaken op hun beurt langs de grond een laag positieve lading. Het elektrische veld tussen wolken en aardbodem wordt zo sterk dat het de lucht ioniseert. Vervolgens ontstaat er een geleidende baan van ionen en vrije elektronen – een plasma – waarlangs de bliksem zich ontladt.

Plasma's worden beheerst door elektromagnetische krachten en velden; daardoor zijn de eigenschappen van plasma's veel ingewikkelder dan die van de drie andere materietoestanden. Wanneer elektronen in een plasma door een achtergrond van ionen stromen, vormt zich rond de stroom een cilindervormig magnetisch veld. In 1934 merkte Willard H. Bennett op dat het cilindrische veld de elektronenstroom focust tot een plasmabundel. Door dit proces, dat men het 'pinch-effect' (letterlijk: knijpeffect) noemt, vormt het plasma meervoudige draden die de stroom geleiden. Ook ontstaat, bij evenwijdig gerichte magnetische en elektrische velden in een plasma, een stroom die de richting van het magnetisch veld volgt: de stroom van vrije ionen en plasma-elektronen spiraliseert als het ware rond de magnetische veldlijnen. Experimenten uit 1952 bewezen dat als men de volgens het magnetisch veld gerichte plasmastroom ombuigt tot een geslotenlus, het plasma de vorm aanneemt van een torus (een opgepompte binnenband). Deze torusgeometrie blijkt zeer bruikbaar voor het opsluiten van kernfusiereacties bij hoge temperaturen.



1. Bij het onderzoek naar plasma's in het laboratorium in Los Alamos had men 10^{12} Watt nodig om een plasmafragment met een lengte van 2,5 centimeter te verkrijgen. Deze opname van het plasma werd verkregen door belichting van een film die gevoelig was voor röntgenstraling.

2. De waarnemingen aan het magnetisch veld rond de planeet Jupiter door de Voyager-1 en de Voyager-2 hebben veel onderzoekers verrast. Door het magnetisch veld ontstaat een fluxbuis tussen de planeet en de maan. De stroomsterkte in deze buis bedraagt bijna vijf miljoen ampère. De vulkanische maan Io stoot enorme hoeveelheden zwavelionen uit. Deze ionen bevinden zich in een stralingsgordel, die de vorm heeft van een binnenband.

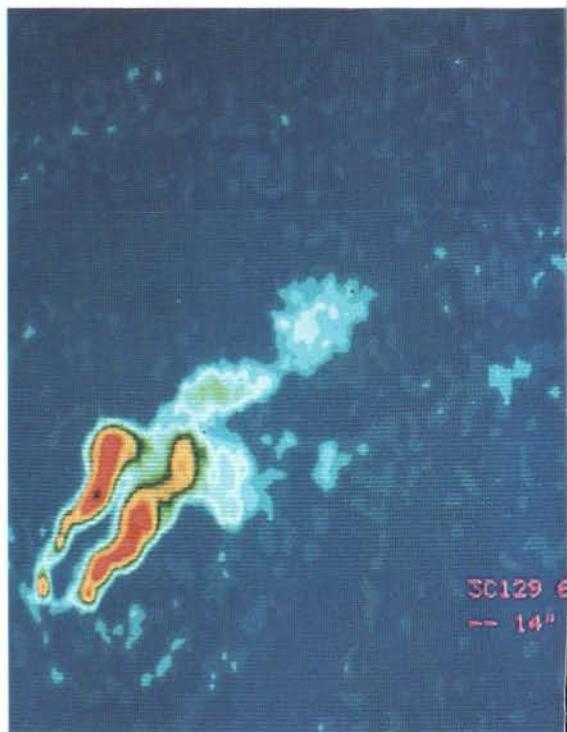


geopperd dat er misschien in het gehele heelal Birkelandstromen van onbegrenste omvang kunnen worden gevonden. Waarom zou de plasmafysica tenslotte anders werken aan het andere eind van de kosmos, op een afstand van tienmiljard lichtjaren, dan in de magnetosfeer van de aarde of in de laboratoria op het aardoppervlak? Onderzoekers hebben met hun verfijnde apparatuur inderdaad laten zien dat het in de kosmos krioelt van de elektrisch geladen, subatomaire deeltjes. De schatting is nu dat 99,999 procent van de waarneembare materie in het heelal bestaat uit plasma's waarin in alle richtingen elektromagnetische velden en Birkelandstromen lopen.

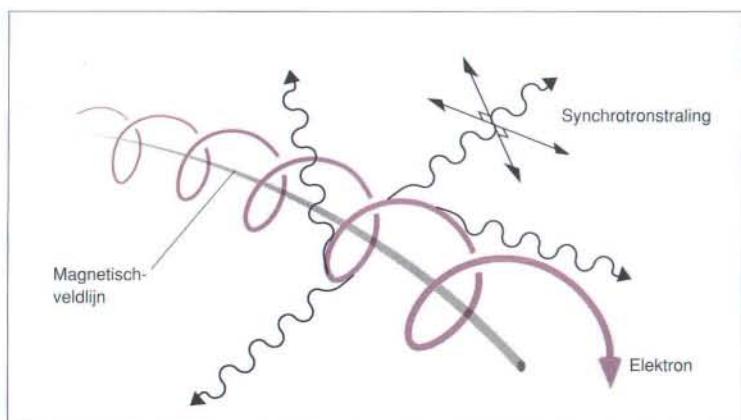
Plasmazee

Toch beginnen wetenschappers pas gedurende de laatste tien jaren de dynamica van het plasmaheelal te begrijpen en op waarde te schatten. Met behulp van supercomputers hebben natuurkundigen voor het eerst de wisselwerkingen tussen plasmastromen kunnen simuleren. In de simulaties ontstonden op sterrenstelsels gelijkende structuren die de vormen van alle bekende soorten sterrenstelsels dicht benaderen. De computersimulaties, samen met recente waarnemingen van plasma's tussen sterrenstelsels, leveren sterke aanwijzingen dat plasma's inderdaad een vooraanstaande rol spelen bij de vorming van de kosmos.

Het model voor wisselwerkingen tussen plasmadraden of -filamenten, zoals dat bij laboratoriumsimulaties wordt gebruikt, is geba-

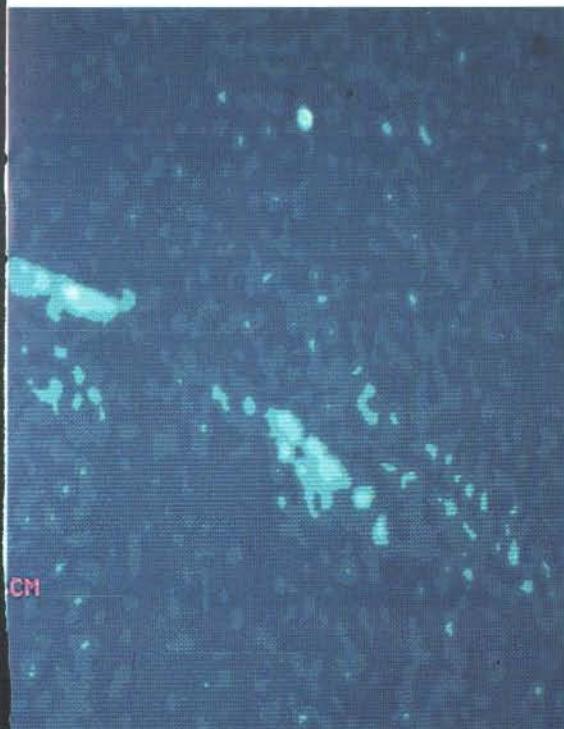


seerd op waarnemingen van veel plasmaver- schijnselen in de ruimte zoals poollicht, protuberansen op de zon en de Jupiter-Io-fluxbus. Steeds wanneer een sterke Birkelandstroom zich voordoet, ontstaan instabiliteiten langs de stroom; op deze plekken ontstaan kleine elek-



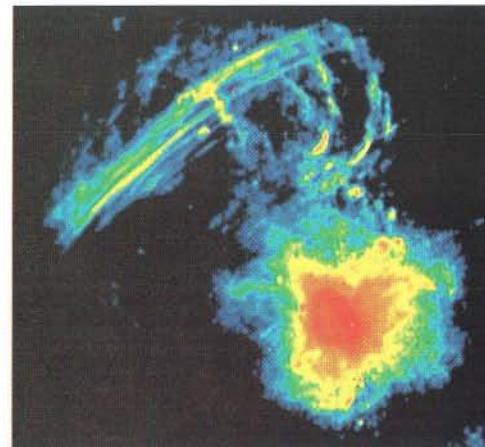
3

3. Synchrotronstraling werd voor het eerst waargenomen in deeltjesversnellers. Deze straling komt vrij wanneer een elektron met een snelheid van bijna de lichtsnelheid onder een hoek een component van een magnetisch veld treft. De smalle stralingsbundel die ontstaat heeft dezelfde richting als het elektron had op het moment van uitzenden. De voorname golflengte is afhankelijk van de snelheid van het elektron en de sterkte van het magnetisch veld.



4. In Westerbork registreerde men de dubbele radiobron 3c 129, een kopstaartstelsel, bij een golflengte van 6 cm. Het melkwegstelsel bevindt zich hier aan het linkereinde van de bron. Men veronderstelt dat de staart hoort bij het spoor van het melkwegstelsel door het gas van een rijke cluster.

5. In 1984 ontdekte men in het centrum van ons melkwegstelsel draadvormige plasma's met een lengte van 120 lichtjaar. Het magnetisch veld had een sterkte van 10^{-7} tesla. Een maand voor deze ontdekking was het bestaan van deze structuren al voorspeld met behulp van het plasmamodel.



5

trische velden. De elektrische velden versnellen elektronen tot hoge energieën, waarbij ze een stroom opwekken die het plasma samenkijpt tot kleine wervelingen. Aangrenzende filamenten zullen naar deze punten worden toegetrokken en waar ze elkaar raken combineren de individuele wervelingen zich tot grotere spiralen. Vandaar dat er langs lange laboratoriumfilamenten periodiek plasmaspiralen optreden.

Plasma's en radiosterrenstelsels

Plasmadraden in het laboratorium zenden op hun kruispunten ook synchrotronstraling uit; dit is eenvoudigweg elektromagnetische straling opgewekt door de snelle cirkelbeweging van geladen deeltjes in een magnetisch veld. Deze ontdekking bleek een belangrijke aanwijzing te zijn voor het bestaan van een plasmaheelal, omdat synchrotronstraling ook vrijkomt uit veel natuurlijke bronnen in de kosmos.

Een van de helderste bronnen van synchrotronstraling aan de hemel is Cygnus A, een dubbel radiosterrenstelsel dat, naar men aan-

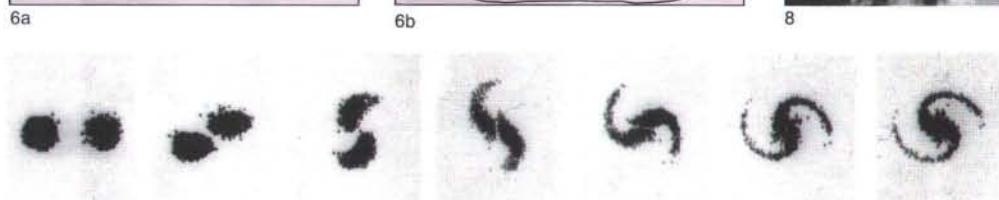
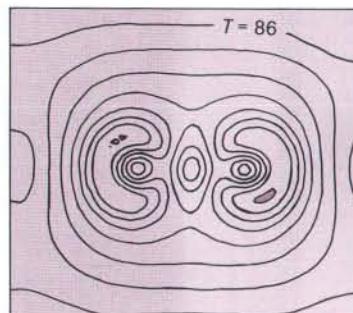
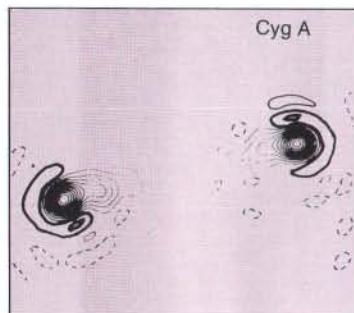
neemt, honderden miljoenen lichtjaren van ons is verwijderd. Door een radiotelescoop gezien, bestaat Cygnus A uit twee C-vormige lobben van intense synchrotronstraling die ongeveer 250 000 lichtjaren uit elkaar staan en elk een doorsnee hebben van circa 100 000 lichtjaren (ongeveer de diameter van ons Melkwegstelsel). Elke lob verzendt bovendien straling uit een hete plek aan het einde van elke arm.

Waarom dubbele radiosterrenstelsels deze structuur hebben, is lang een mysterie geweest in de astrofysica. De standaardverklaring is dat een zwart gat bundels elektronen uitzendt die op hun beurt de synchrotronstraling opwekken. Maar laboratoriumdemonstraties waarbij synchrotronstraling ontstaat uit wisselwerkingen tussen plasmadraden, wekken twijfel op over deze verklaring. Nog indrukwekkender is dat tijdens computersimulaties van de laboratoriumexperimenten synchrotronstraling ontstaat met een patroon dat vrijwel gelijk is aan het patroon dat men waarnemt in dubbele radiosterrenstelsels – inclusief de opvallende hete plekken.

Computersimulaties van het heelal

In de vaste overtuiging dat gesimuleerde plasma's een afspiegeling vormen van verschijnselfen die zij in de verre ruimte waarnemen, zijn natuurkundigen verder gegaan met het simuleren van plasma's om te onderzoeken hoe sterrenstelsels zich uit plasmastromen kunnen vormen. Van 1979 tot 1986 gebruikten wij supercomputers voor de simulatie van de effecten op

6. Cygnus A is de sterkste bron van synchrotronstraling aan ons firmament. De straling is vooral afkomstig uit twee C-vormige lobben (6a). Een simulatie van wisselwerkende plasma's geeft na 17,5 miljoen jaar hetzelfde beeld (6b). Zelfs de berekende 'hot spots' komen met de waarneming overeen.



lange termijn van plasmakrachten op een dubbel radiosterrenstelsel met de eigenschappen van Cygnus A. Om de methode te verifiëren werden de lobstructuren die ontstonden in de computersimulatie, plaatje voor plaatje en tot in de kleinste details vergeleken met de lobstructuur van vele dubbele radiosterrenstelsels en met de structuren van bijzondere en gewone sterrenstelsels die door telescopen in kaart zijn gebracht. De resultaten van dit onderzoek waren verbazingwekkend.

De simulatie toonde hoe een dubbel radiosterrenstelsel met een doorsnee van 250 000 lichtjaren in het tijdsbestek van een miljard jaar via een aantal herkenbare stadia kan evolueren tot een balkspiraalstelsel met een doorsnee van 100 000 lichtjaren. Galactische astronomen geloven dat balkspiraalstelsels nieuwe sterren kweken en verder evolueren tot de spiraalstel-

sels en elliptische stelsels die de verzameling van soorten sterrenstelsels completeren. Met andere woorden: radiosterrenstelsels lijken de voorlopers te zijn van alle andere sterrenstelsels. Zelfs dubbele radiosterrenstelsels, die er zeer uiteenlopend uitzien, bevinden zich misschien alleen maar in verschillende stadia van gelijksoortige evolutiepaden en schelen enkel een paar miljoen jaar in leeftijd. Eigenlijk lijken bijna alle kosmologische objecten in het nabije en verre heelal, van quasars tot spiraalstelsels, leden te zijn van één enkele familie die enkel verschillen in leeftijd.

Het model van onderling wisselwerkende plasmastromen heeft, dankzij de bevestiging van een aantal van de voorspellingen van dit model, de laatste vijf jaar snel aanhang verworven. In laboratoriummodellen wekt een rotarend 'sterrenstelsel' twee soorten magnetische



7. Op een supercomputer simuleerden onderzoekers de wisselwerking tussen radiosterrenstelsels. Een dubbel radiosterrenstelsel evolueert hier tot een balkspiraalstelsel. De werking van de zwaartekracht zou volgens het plasmamodel in dat stadium aanleiding geven tot stervorming.

8. Een opname van de krabnevel toont een draadvormige structuur die voornamelijk licht van geëxciteerde waterstofatomen uitzendt. Het diffuse licht op de achtergrond wordt veroorzaakt door elektronen die versneld worden door een magnetisch veld en daarbij synchrotronstraling uitzenden.

velden op. Het toroidale veld vormt een enorme ring om het sterrenstelsel in het galactische vlak. Daarnaast is er het verticale veld dat vanuit het galactische centrum een lus vormt boven en onder het vlak van het sterrenstelsel. De twee velden verschijnen zelfs als het magnetisch veld aanvankelijk ontbreekt. Op natuurlijke wijze voorspelt het model dat plasmadraden met een soortgelijke structuur in het centrum van ons eigen melkwegstelsel moeten voorkomen.

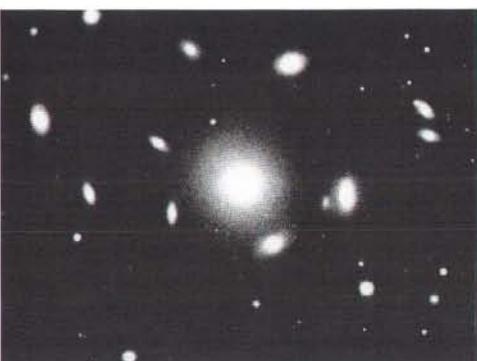
Wisselwerkende plasmafilamenten

In 1984 ontdekten radio-astronomen met behulp van de VLA-radiotelescoop in New Mexico (V.S.) een boog met een lengte van zo'n 120 lichtjaren in het centrum van de Melkweg. De boog blijkt een systeem te zijn van kleine draden met een breedte in de orde van drie lichtjaren die elk langs de hele lengte van de boog lopen. Wervelende spiralen vormen de buitenste laag van de buis. Een binnenste laag van bijna rechte draden rijgt de kernen van de spiralen aan elkaar: rond de hele buis zijn zowel verticale als toroidale magnetische velden aanwezig.

Hoewel de sterkte van het veld honderdmaal zo groot was als de waarde die astrofysici op zo'n grote schaal mogelijk achtten, bleek de sterkte vrijwel gelijk aan de waarden die volgden uit een computersimulatie die we nauwelijks een maand eerder hadden gepubliceerd.

Het model van wisselwerkende stromen heeft tot een nog veelzeggender ontdekking geleid. In het laboratorium is de breedte van een plasmadraad die synchrotronstraling uitzendt ongeveer een tienduizendste van zijn lengte. Als hetgeen astronomen waarnemen als een dubbel radiosterrenstelsel in werkelijkheid de doorsnede is van met elkaar wisselwerkende plasmadraden, dan zouden radiosterrenstelsels — en uiteindelijk alle sterrenstelsels — deel uitmaken van netwerkachtige, uit plasmadraden bestaande structuren die zich uitstrekken over een ruimtegebied met afmetingen van een miljard lichtjaren.

Radio-astronomen ontdekten drie jaar later immens grote galactische structuren met afmetingen die opmerkelijk goed met deze resultaten overeenkwamen. Het bleek dat nabije clusters van sterrenstelsels zich groeperen in een superclustercomplex met een lengte van een miljard lichtjaar, een dikte van 130 miljoen lichtjaar en een breedte van 325 miljoen lichtjaar. Binnen het complex, dat ook de Melkweg omvat, zijn de sterrenstelsels meer dan twintig maal zo dicht opeengepakt als daarbuiten.



9

9. Volgens de plasmatheorie zijn de sterrenstelsels in een cluster te zien als plaatselijke verdichtingen van de materie binnen een

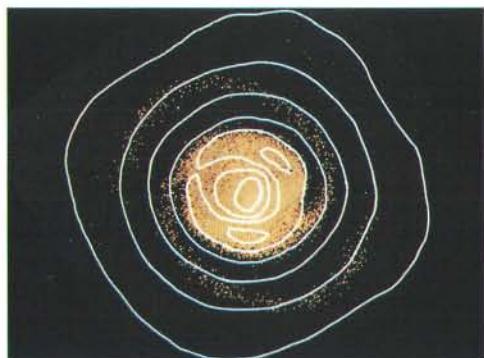
netwerk van enorme plasmadraden. Op hun beurt zijn deze clusters weer een deel van een superclustercomplex.

Op basis van deze ontdekkingen hebben een aantal fysici de theorie van Birkeland en Alfvén aanvaard: het heelal zit niet alleen vol met plasma's en plasmastromen, maar het is bovendien de elektromagnetische kracht, en niet de zwaartekracht, die de dynamica van het heelal beheert. Volgens de plasmakosmologie is het heelal een ware zee van geladen deeltjes, dooveven met complexe magnetische velden en elektrische stromen en is het dit altijd geweest.

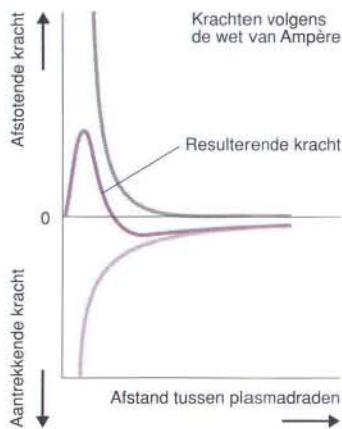
Om tot dit beeld te komen, pasten we de beginvoorwaarden in ons wisselwerkende-stromenmodel aan en lieten de supercomputer rekenen vanaf een hypothetische tijd toen er geen sterren, sterrenstelsels, quasars of superclusters waren. Op deze manier ontstond een nieuw beeld van de ontwikkeling van het heelal.

10. De emissiecontouren van waterstof bij 21 cm tonen twee waterstofpieken naast het centrum in een gesimuleerd spiraalstelsel.

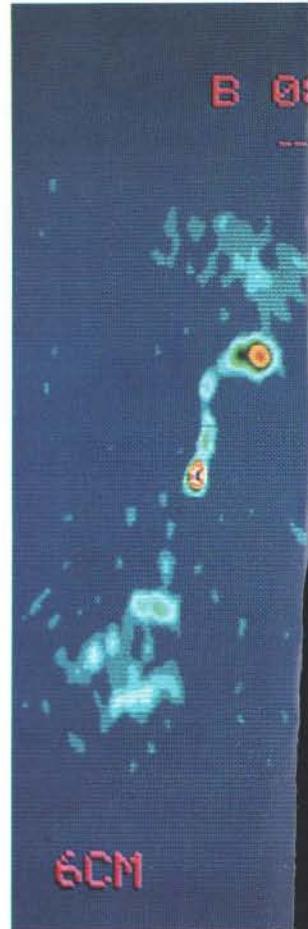
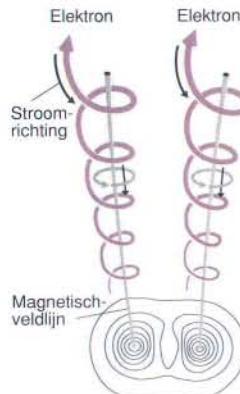
Volgens de plasmatheorie hoopt waterstof zich op rond magnetische velden.



10



11



11. Twee naburige Birkelandstromen veroorzaken een interessant krachten spel. De parallelle componenten van de stroom zorgen voor een aantrekkeende kracht. De componenten die daar loodrecht op staan, werken juist afstotend. De grafiek toont de resulterende kracht tussen de filamenten. Een derde kracht ontstaat als de hoeveelheid elektronen niet overeenstemt met het aantal ionen. De genoemde krachten zijn verantwoordelijk voor de vorming van draadvormige en vlakke plasmastructuren.

12

Een galactisch netwerk

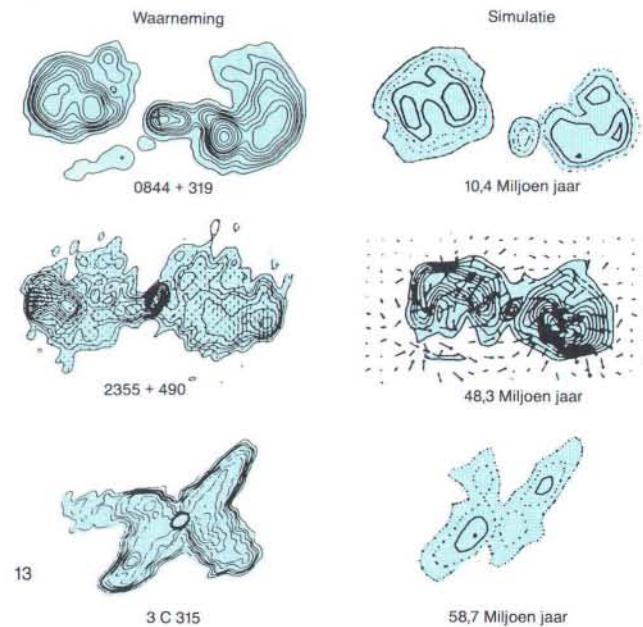
Ons model gaat uit van het bestaan van een oneindig grote ruimte met magnetische velden waarin plasma uniform is verdeeld. Een uniforme verdeling van plasma is weliswaar niet vereist in de simulaties, maar het vereenvoudigt de beginsituatie van waaruit *plasmafilamentatie* bestudeerd kan worden. Als er nog een andere vorm van non-uniformiteit aanwezig is, zoals bijvoorbeeld variaties in de elektronentemperatuur (een maat voor de gemiddelde snelheid van de elektronen), ontwikkelen zich uitgestrekte, wervelende elektromagnetische velden die het plasma tot draden samenkni-

pen. De draden groeien aan tot de omvang van superclusters en bereiken een lengte van miljarden lichtjaren. Het plasma in deze clusters wordt verder samengeknepen tot kleinere draden van de afmetingen van sterrenstelsels, die miljarden jaren lang met elkaar wisselwerken: uiteindelijk verzamelen en neutraliseren ze zo veel massa dat zwaartekracht een belangrijke factor wordt in hun verdere ontwikkeling.

Zo worden op den duur alle bestaande soorten sterrenstelsels gevormd. Zoals dauw druppeltjes vormt op een spinneweb, condenseert de waarneembare kosmos in steeds kleinere stappen uit de plasma-achtergrond, waarbij uiteindelijk sterren en planeten ontstaan. Er is geen expansie en het heelal hoeft niet te eindigen in een eindkrak. In tegenstelling tot het

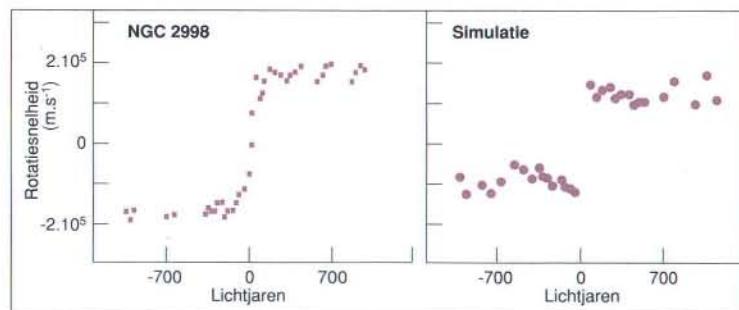
heelal volgens het oerklammodel, ontwikkelt het plasmaheelal zich zonder dat er een begin en een einde nodig is; het heeft een onbepaalde ouderdom en een onbepaald lange levensduur.

Hoewel oerklamtheoretici zich wel bewust zijn van de overheersende aanwezigheid van plasma's in het heelal, maken zij in hun model weinig gebruik van plasmaphysica. Zo beweren theoreti ci dat, hoewel de vurige beginexplosie van de oerklam een plasma moet zijn geweest, plasmakrachten maar een paar honderduizend jaar lang bleven bestaan. Ze houden vol dat het heelal daarna is overheerst door materie en zwaartekracht. Terwijl het plasmamodel echter steeds meer ondersteuning heeft gekregen, verliest het bewijsmateriaal voor de oerklamtheorie langzaam maar zeker overtuigingskracht.



12. Een kenmerkende dubbele radiobron is het stelsel B 0844 + 31. Deze opnamen bij golflengten van 6 en 49 centimeter zijn gemaakt met de radiotelescoop in Westerbork, een faciliteit van de Stichting ASTRON die financieel wordt ondersteund door de NWO. Het melkgeweststel valt samen met het piekje tussen de twee lobben. Bij een golflengte van 6 cm kan men een dun filament waarnemen dat noordwaarts loopt. Mogelijk bevat dit filament een bundel waardoor plasma stroomt van de kern naar de buitenkant van het stelsel.

13. Bij de simulatie van wisselwerken de plasmadraden ontstaan afbeeldingen van de energiedichtheid van elektrische velden op verschillende tijdstippen. Deze afbeeldingen komen verbazingwekkend goed overeen met opnamen van de synchrotronstraling die door diverse radio sterrenstelsels wordt uitgezonden. De aanhangers van de plasmatheorie zien deze simulaties als een bewijs dat oogenschijnlijk totaal verschillende radio sterrenstelsels zeer sterk verwant zijn. Ze bevinden zich slechts in verschillende ontwikkelingsstadia.



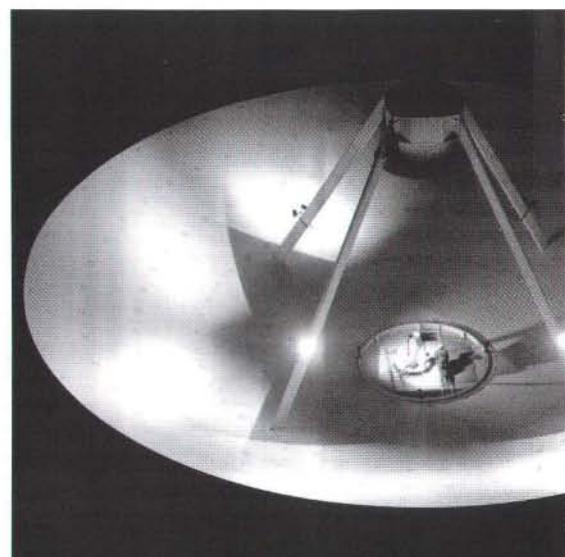
14

14. De draaisnelheid van het spiraalsterrenstelsel NGC 2998 komt zeer sterk overeen met de draaisnelheid die de computer berekende voor een stelsel dat zich uit een dubbel radio-sterrenstelsel ontwikkelde. Dit stelsel heeft in de simulatie een leeftijd van 356 miljoen jaar.

De bewijskracht van de achtergrondstraling

Het sterkste bewijs dat voorstanders van de oerknal voor hun model aanvoeren, is het bestaan van de kosmische achtergrondstraling. Waarnemingen van de achtergrondstraling, in een golflengtegebied van ongeveer een millimeter tot twaalf centimeter, suggereren dat de intensiteit van de straling overeenkomt met een temperatuur van 2,78 K. Simulaties van een plasmaheelal laten zien dat de velden en stromen van zo'n heelal eveneens aanleiding kunnen geven tot een kosmische achtergrondstraling in het microgolflengtegebied, die uniform is in alle richtingen. Zoals laboratoriumexperimenten hebben aangetoond, wekken alle plasma's met een draderige structuur microgolven op. Simulaties in het laboratorium van de mechanismen die microgolven opwekken leveren, wanneer hun schaal wordt vergroot tot galactische afmetingen, microgolstraling op met een temperatuur van 2,0 K. Een resultaat dat redelijk overeenkomt met de waargenomen straling van 2,78 K. Om dit resultaat in het juiste perspectief te plaatsen moeten we erbij vermelden dat de energie van de voorspelde straling iets kleiner is dan een derde van de energie van de waargenomen straling (omdat energie snel afneemt met afnemende temperatuur). Aan de andere kant ligt de waarde veel dichter bij de werkelijke waarde dan de schattingen volgens het oerknalmmodel vóór de ontdekking en meting van de kosmische achtergrondstraling in 1965.

Meer dan twee jaar geleden werd aangetoond hoe de microgolf-achtergrondstraling homogeen kan zijn, zelfs al is de materie ongelijkmatig verdeeld over het heelal. Berekeningen laten zien dat de plasmadraden die

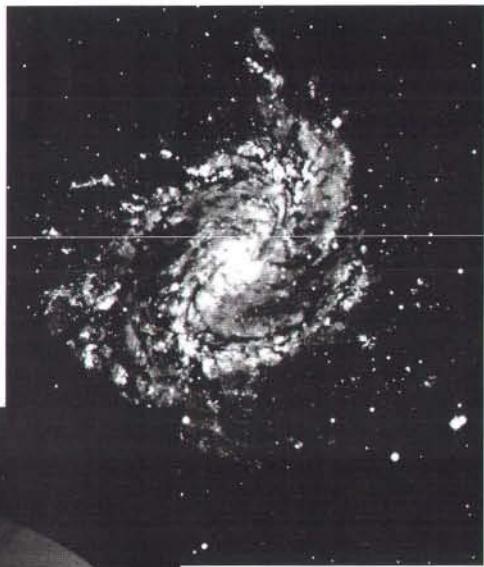


15

de miljarden, verspreid in de ruimte liggende sterrenstelsels omvatten, dergelijke straling steeds opnieuw zouden kunnen absorberen en weer uitzenden. Dit repeterende proces zou uiteindelijk de uniforme stralingszee opleveren die we nu waarnemen.

Donkere materie

Een heelaldynamica die wordt gedomineerd door plasma's kan ook de vorming van sterrenstelsels, clusters van sterrenstelsels en superclusters verklaren, die in het oerknalmmodel zo veel problemen oplevert. Er is bijvoorbeeld jarenlang gediscussieerd over 'donkere materie' waarmee men de rotatie van spiraalvormige



15.

15. In Cambridge staat een schotelantenne met een doorsnede van 32 meter. Zeven schotels zullen samen gaan functioneren als een telescoop met een lengte van 225 kilometer.

16. Volgens Andris Lauberts en Edwin Valentijn bevatten stelsels als NGC 5236 (M83) grote hoeveelheden stof. Daarmee zou de 'donkere materie' in de oerknal-kosmologie voor een groot deel verklard zijn. In de plasmasimulaties speelt dit galactische stof geen belangrijke rol.



sterrenstelsels zou kunnen verklaren. De bewegingswetten bepalen dat de zichtbare materie in een sterrenstelsel snel moet rond draaien in het centrum, waar de gravitationele krachten het grootst zijn, en langzamer aan de buitenste randen. In werkelijkheid draaien spiraalstelsels meer rond als frisbees, alsof — volgens de oerknaltheoretici — een hoeveelheid niet waarneembare materie ze bij elkaar houdt.

Zoals onze computersimulaties in 1984 echter aangaven, kan een plasmakosmologie de rotatie van sterrenstelsels verklaren zonder terug te hoeven vallen op dergelijke ad hoc verklaringen. Rekening houdend met de waarneembare massa van een gewoon sterrenstelsel (ongeveer de massa van honderd miljard zon-

nen) gaf het model met wisselwerkende plasmastromen de rotatie van sterrenstelsels weer tot in de kleinste details, tot aan de vorming van de spiraalarmen toe.

Oerknaltheorie of plasmakosmologie

Het is nog te vroeg om uit te maken of de oerknaltheorie haar bruikbaarheid heeft overleefd en of een plasmakosmologie deze theorie met succes kan vervangen. De Cosmic Background Explorer (COBE), een satelliet die in november 1989 is gelanceerd, probeert de precieze aard van de kosmische achtergrondstraling beter te bepalen. De zeer nauwkeurige waarnemingen van deze satelliet hebben tot dusver alleen maar bevestigd dat de kosmische achtergrondstraling inderdaad extreem uniform en homogeen is, zonder enige onregelmatigheid in de samenstelling ervan.

Voorstanders van de oerknal ontkennen in tussen stelselmatig dat hun model een belijnde fase heeft bereikt. Ze beweren dat de 'donkere materie' en de zware sterren in de vroege geschiedenis van het heelal geen ad hoc aannamen zijn maar slechts voorspellingen die wachten op toekomstige verificatie. Er komt echter voor elk model een tijdstip waarop dit het geduld van zijn aanhangers heeft uitgeput en de grenzen van zijn geloofwaardigheid heeft bereikt. En veel fysici geloven dat het tijdstip waarop de oerknaltheorie of zijn waarde opnieuw moet bewijzen of van het toneel moet verdwijnen, niet ver meer is verwijderd.

Literatuur

- Weinberg S. *De eerste drie minuten - Nieuwe inzichten over het ontstaan van het heelal*. Maastricht/Brussel: Natuur & Techniek, 1983.
- Hoyle F, Wickramasinghe C. *Big bang or steady state*. Natuur & Techniek 1989; 57: 6, 446-457.
- Reeves H, Van der Hulst T. *Fossielen van het uur nul - de vroege fasen van het heelal*. Natuur & Techniek 1990; 58: 2, 142-153.

Bronvermelding illustraties

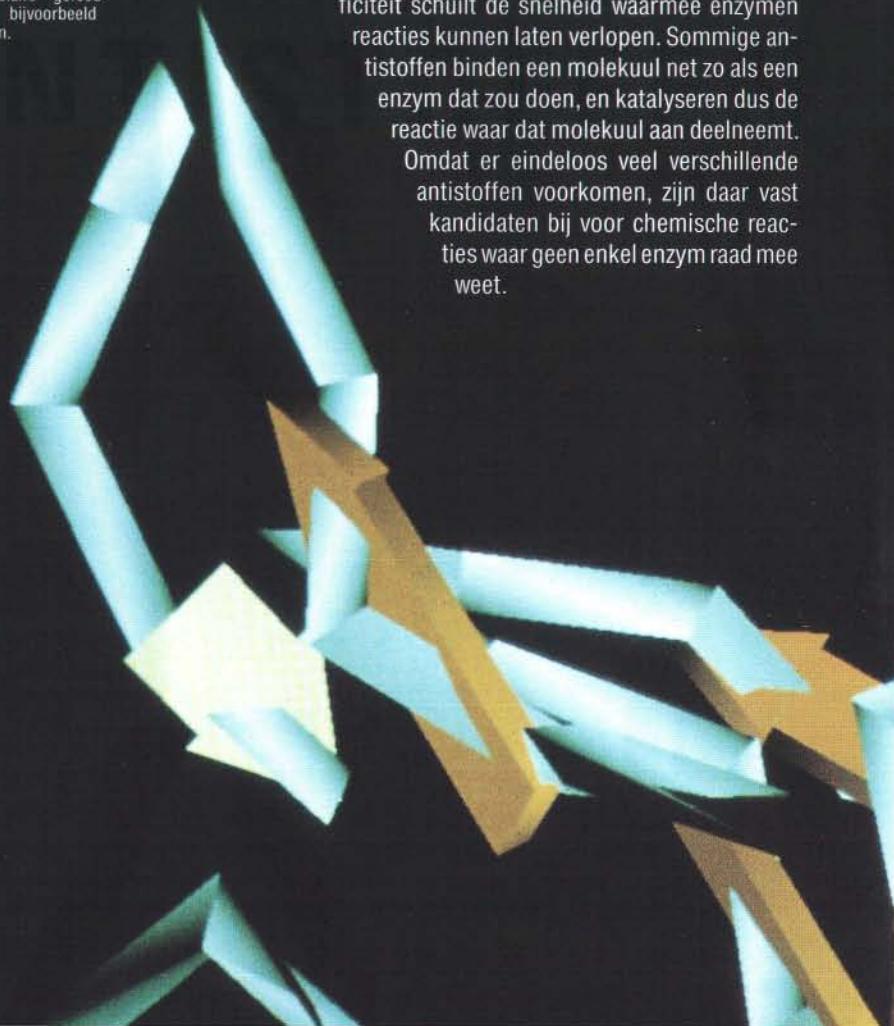
- Hattinga-Verschure, Deventer: 772-773.
- Westerbork Telescoop, Stichting ASTRON: 4, 12.
- ESO, München: 8, 16.
- Britse ambassade, 's-Gravenhage: 15.
- De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.

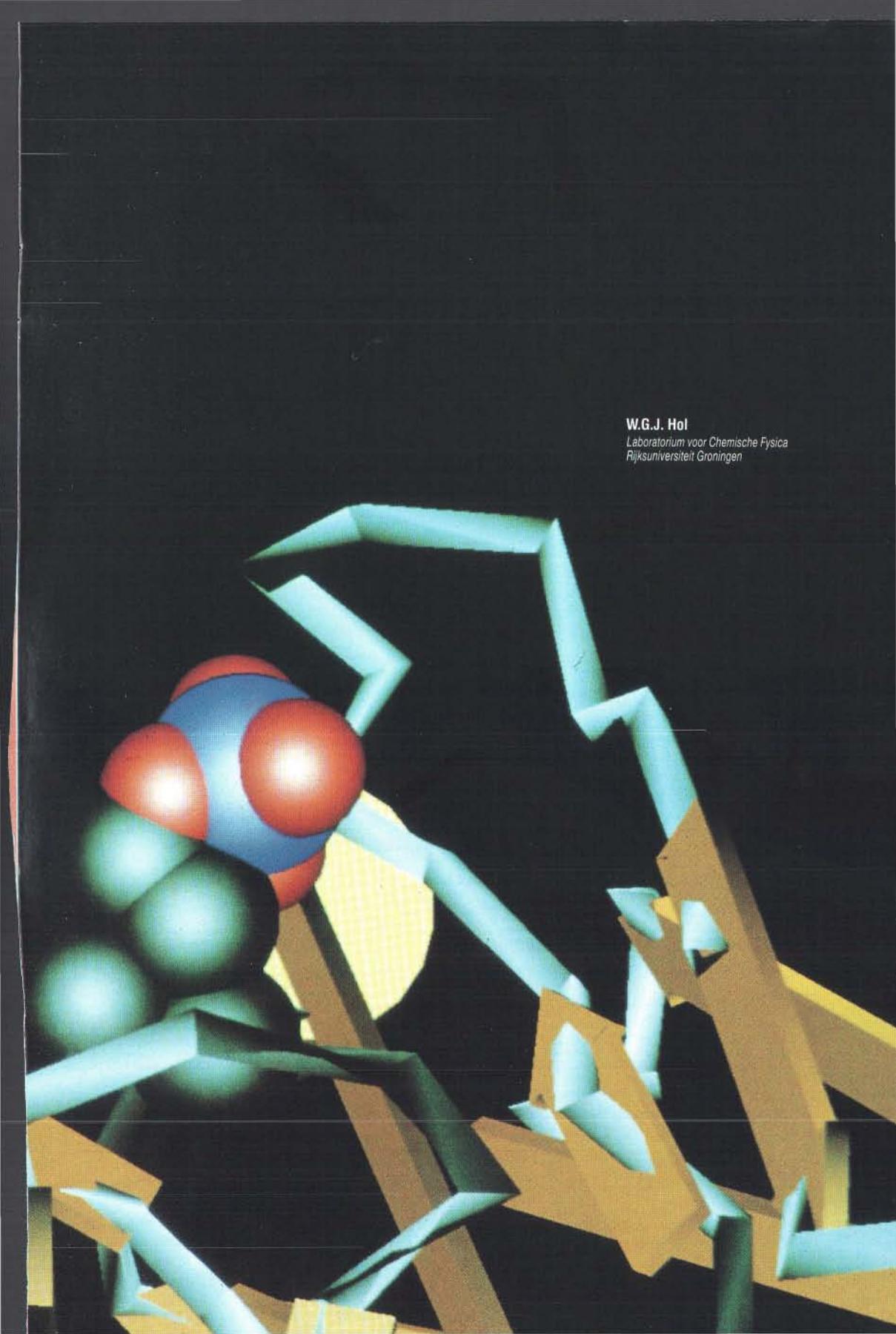
ANTISTOFFEN

A. I. S E N Z Y M

Een antistof heeft een molecuul fosfocholine te pakken. Het lichaams-vreemde molecuul, hier weergegeven met bollen, kan na de binding aan de antistof onschadelijk worden gemaakt door een cel van ons immuunsysteem. Het immuunsysteem heeft het vermogen om tegen vrijwel elk vreemd molecuul specifieke antistoffen op te wekken. Dit maatwerk kan van pas komen bij het maken van molekulaire gereedschappen, bijvoorbeeld katalysatoren.

Enzymen katalyseren reacties en antistoffen leveren bescherming tegen ongewenste binnendringers. Voor zover bekend zijn de functies van antistoffen en enzymen in de natuur strikt gescheiden. Dat begint nu te veranderen. Enzymen en antistoffen hebben namelijk met elkaar gemeen dat ze andere molekülen specifiek kunnen binden. In die specificiteit schuilt de snelheid waarmee enzymen reacties kunnen laten verlopen. Sommige antistoffen binden een molecuul net zo als een enzym dat zou doen, en katalyseren dus de reactie waar dat molecuul aan deelneemt. Omdat er eindeloos veel verschillende antistoffen voorkomen, zijn daar vast kandidaten bij voor chemische reacties waar geen enkel enzym raad mee weet.



A large-scale abstract sculpture composed of various geometric shapes, primarily cubes and spheres, arranged in a dynamic, overlapping composition. The colors used are a palette of red, blue, green, yellow, cyan, and gold. The sculpture is set against a solid black background, which makes the vibrant colors stand out. The lighting is dramatic, casting deep shadows and highlighting the edges of the geometric forms.

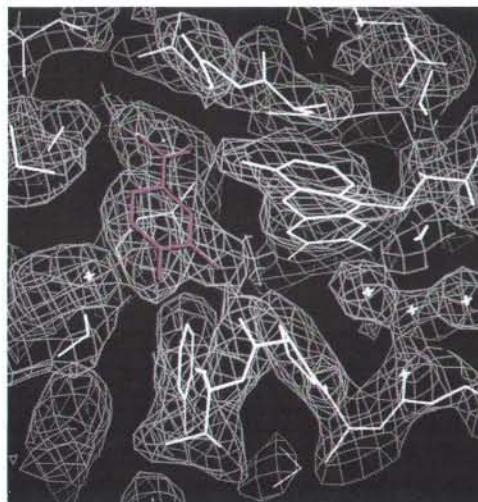
W.G.J. Hof

*Laboratorium voor Chemische Fysica
Rijksuniversiteit Groningen*

Water en eiwitten zijn, qua gewichtshoeveelheden, verreweg de belangrijkste componenten van een doorsnee zoogdiercel. Twee in het oog lopende klassen van eiwitten zijn de enzymen en de antistoffen. Enzymen katalyseren reacties. Antistoffen leveren bescherming tegen ongewenste binnendringers. Voor zover bekend zijn de functies van antistoffen en enzymen in de natuur strikt gescheiden.

Dat begint nu te veranderen. Niet door evolutionaire ontwikkelingen in de organismen, maar door de nieuwe mogelijkheden die biomoleculaire wetenschappers voor handen hebben. Zij beschikken vandaag de dag over een diepgaand inzicht in de werking van tientallen enzymen, over kennis van de structuur van antistoffen, en over onbekende mogelijkheden om zowel enzymen als antistoffen naar believen te variëren.

1. Het substraat past als een sleutel in het actieve centrum van een enzym, het 'slot'. Het slot heeft niet alleen een heel precieze vorm, maar ook een heel precies bepaalde beweeglijkheid. Hier is het (gekleurde) substraat een molecuul p-hydroxybenzoaat, in het centrum van het gedeeltelijk zichtbare enzym para-hydroxybenzoaat-hydroxylase (PHBH).



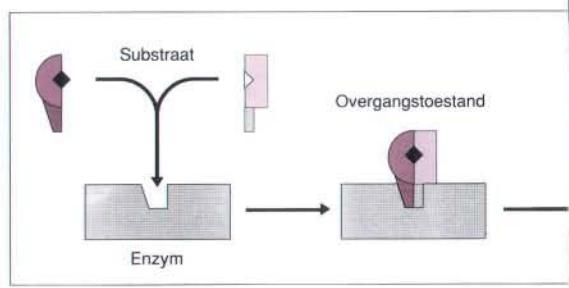
1

2 en 3. Een chemische reactie van een substraat tot een produkt verloopt via een overgangstoestand. In een ongekatalyseerde reactie is dat de hoogste energieberg die de reactie moet nemen. Een enzym bindt juist de overgangstoestand heel goed, en weet zo de energetische hindernis drastisch te verlagen, waardoor de reactie veel sneller verloopt.

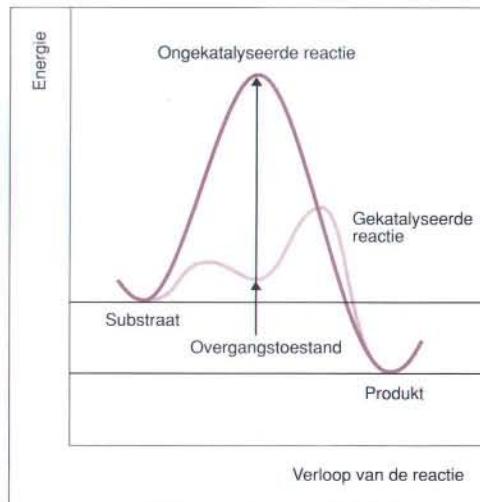
Over de werking van enzymen is zeer veel bekend, hoewel die van geen enkel enzym geheel is begrepen. Toch zijn zo langzamerhand de principes van enzymwerking aardig duidelijk geworden. Een van de belangrijkste daarvan is de *overgangstoestand-stabilisatie*.

Een enzym is een eiwit met een holte in zijn ruimtelijke structuur. In die holte, het *actieve centrum*, bindt het molecuul (of de molekülen) dat een chemische omzetting zal ondergaan. Dit molecuul – in een reactievergelijking staat het links van de pijl – heet het *substraat*. Via de *overgangstoestand* zet een enzym het substraat om in het produkt van de reactie.

De overgangstoestand (afb. 2 en 3) is de ongunstigste energetische configuratie tijdens een chemische reactie. Enzymen binden juist de overgangstoestand van 'hun' reactie zeer goed, veel beter dan het substraat en de produkten

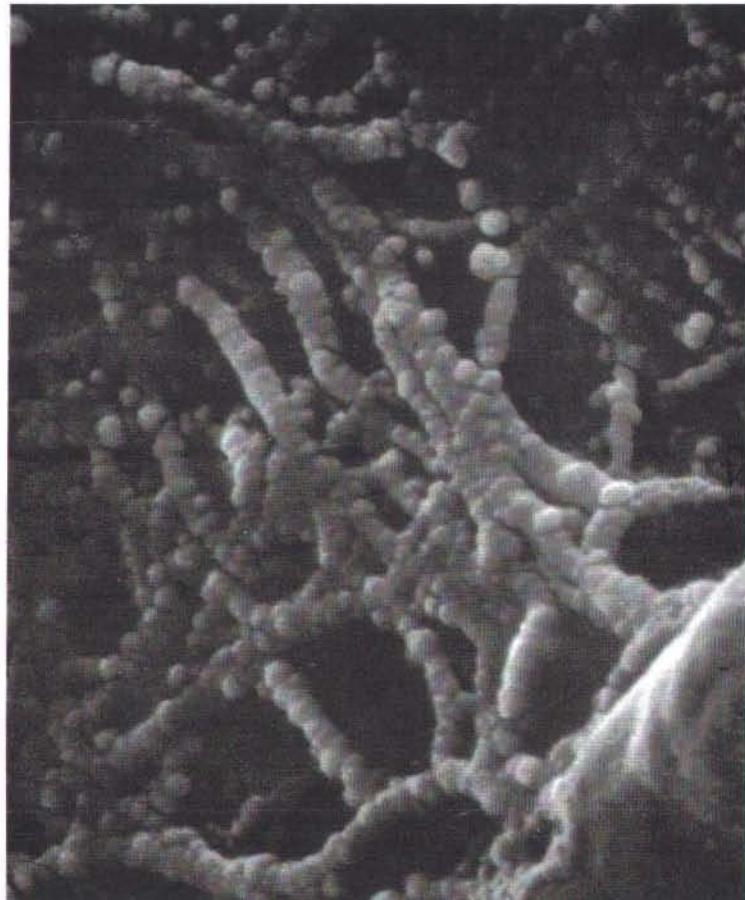


2

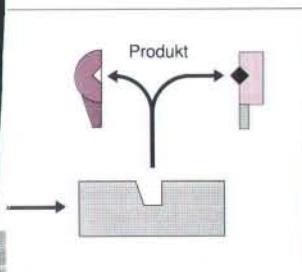


3

4. Thrombine is een heel specifiek enzym dat een sleutelrol speelt in de bloedstolling. Het knipt onder meer het goed oplosbare eiwit fibrinogenen op zeer bepaalde plaatsen door, waardoor het onoplosbare fibrine ontstaat. Fibrine vormt een spinnewebachtig netwerk dat de omringende vloeistof vasthoudt: het bloed stolt. (© Boehringer Ingelheim, Alkmaar. Fotografie: Lenart Nilsson.)



4



van de reactie. Deze stabilisatie leidt tot een verlaging van de energiebarriëre die de reactie moet nemen en daardoor tot een sneller verloop van de reactie. Verlaging van de energiebarriëre met zo'n vijf kilojoule per mol leidt tot een versnelling met een factor tien.

Enzymen brengen het principe van overgangstoestandstabilisatie met veel virtuositeit in de praktijk. Zo zijn zelfs versnellingen van chemische reacties met een factor 10^{10} mogelijk, alhoewel beslist niet alle enzymen op zulke fantastische versnellingen kunnen bogen.

Heel specifiek

Enzymen werken niet alleen snel, maar vaak ook *specifiek*. Dat wil zeggen dat ze alleen een bepaalde reactie katalyseren als het substraat

aan allerhande 'voorwaarden' voldoet. Thrombine bijvoorbeeld, een enzym dat een sleutelrol speelt in de bloedstolling, herkent een volgorde van vier à vijf aminozuren van een ander eiwit, om dat op exact de goede plaats door te knippen en zo de stolling op gang te brengen. Of neem restrictie-enzymen, die heel specifieke basenpaarvolgorden in het DNA herkennen alvorens het DNA daar in tweeën te splitsen.

Overigens bezitten lang niet alle enzymen zo'n grote specificiteit; dat is ook niet altijd functioneel. De eiwitsplitsende enzymen in het maag-darmkanaal knippen bijvoorbeeld elk eiwit, ongeacht zijn structuur, in kleine stukjes. Het is interessant dat de verschillen in specificiteit soms afhangen van kleine verschillen in de aminozuurvolgorde nabij het actieve centrum van het enzym.

Behalve divers, snel en specifiek lijken sommige enzymen welhaast over een zekere 'intelligentie' te beschikken, dat wil zeggen, ze reageren op signalen uit hun directe omgeving. De zogenaamde *allostereenzymen* katalyseren een reactie sneller of langzamer naarmate ze meer of minder van bepaalde molekülen in hun nabijheid waarnemen. Glutamine-synthetase is in dit opzicht misschien de recordhouder: maar liefst achttien verbindingen beïnvloeden de katalytische werking ervan. Deze verbindingen vertonen vaak geen enkele gelijkenis met substraatmolekülen en binden ver weg van het actieve centrum aan het enzym. Ze veroorzaken

vormveranderingen in het enzym en geven daarmee signalen die de efficiëntie van de katalyse beïnvloeden. Deze allosterische enzymen zijn katalysatoren met een 'flexibele respons'.

Een enorme diversiteit

Antistoffen katalyseren, zoals eerder gezegd, normaliter geen reacties, maar vervullen een uiterst belangrijke rol in het immuunsysteem van gewervelde dieren. Het zijn eiwitten die vrij in het bloed voorkomen en zich daar binden aan lichaamsvreemde stoffen, die vervolgens door de 'opruimcellen' van het immuunsysteem worden verwijderd.

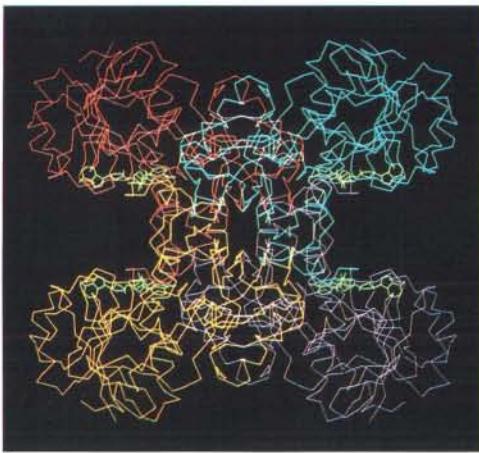




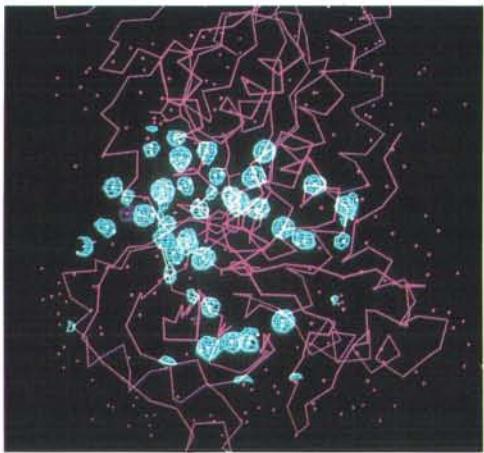
6

teem onschadelijk worden gemaakt. Antistoffen zijn veel uniformer van bouw dan enzymen. Het zijn specialisten in het binden van een enorme verscheidenheid aan molekülen. Deze verscheidenheid in specificiteit wordt verkregen door veranderingen in de aminozuurvolgorde van de *antigeenbindingsplaats*.

Het *antigeen* is datgene wat door de antistof gebonden wordt. Het kunnen eiwitten, nucleïnezuren, en koolhydraten zijn, maar ook allerlei kleinere molekülen. Het immuunsysteem heeft de fascinerende capaciteit ontwikkeld om langs genetische weg antistoffen tegen zeer veel verschillende antigenen op te wekken.



7



8

5. In de biotechnologische industrie katalyseren enzymen reacties die de klassieke chemische technologie niet of slechts bij hoge druk en temperatuur voor elkaar krijgt. Deze 750-liter reactor in een proeffabriek, produceert 20 kg zuivere chemicaliën per etmaal, met een waarde van 825 duizend gulden of veertien miljoen frank.

6. Speciale cellen, het fusieproduct van antistofproducerende cellen en tumorcellen, produceren grote hoeveelheden van dezelfde (monoklonale) antistoffen. In deze stoof worden in allerlei vaatjes cellijnen gekweekt die elk hun eigen monoklonaal voortbrengen.

7. GAPDH (glyceraldehydefosfaatdehydrogenase) is een enzym dat bestaat uit vier eiwitketens. Die zijn hier alle vier met een aparte kleur weergegeven. In groen is NAD⁺ te zien. NAD⁺ is een van de substraten van dit allosterisch enzym. Bij allosterisch enzym heeft de binding van een substraat grote invloed op de activiteit.

8. Het enzym PHBH als draadmodel, met daaromheen watermolekülen. De watermolekülen zijn weergegeven als puntjes en, nabij het actieve centrum, als blauwe bollen. Water beïnvloedt in belangrijke mate de ruimtelijke structuur van elk eiwit, dus ook van een enzym of antistof.

Die enorme diversiteit van de antistoffen heeft lange tijd het onderzoek aan deze belangrijke klasse van eiwitten belemmerd. Door de komst van de monoklonale antistoffen, zo'n vijftien jaar geleden, werd het opeens wél mogelijk grote hoeveelheden van eenzelfde antistof te verkrijgen. Daartoe worden antistofproducerende cellen met 'eeuwig levende' cellen versmolten. Na selectie en kweken verkrijgt men dan een grote hoeveelheid cellen die slechts één antistof produceren.

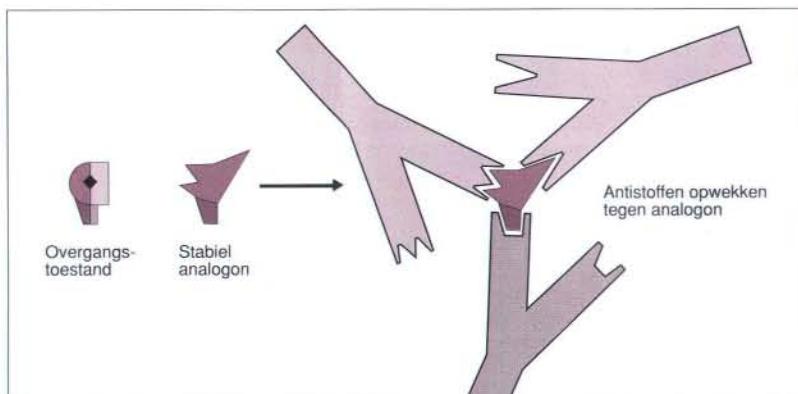
Door nu de inzichten in de essentie van de enzymkatalyse te combineren met de productie van monoklonale antistoffen, zijn de eerste katalytische antistoffen verkregen. Het idee is vrij simpel. Zoals eerder uiteengezet is de stabilisatie van de overgangstoestand een essentieel

kenmerk van enzymen. Enzymen binden de overgangstoestand van de reactie die zij katalyseren zeer sterk. Wel, door nu antistoffen op te wekken tegen een stabiel molecuul dat analoog is aan een overgangstoestand, ontstaat een groot aantal antistoffen die in ieder geval dat analogon binden.

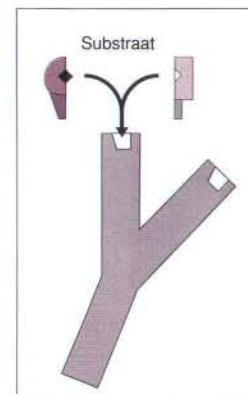
Sommige van die antistoffen zullen ook de op het analogon lijkende overgangstoestand binden. Als nu ook nog de binding van de echte overgangstoestand sterker is dan die met de corresponderende substraten en produkten, hebben we een antistof die de overgangsenergie van een reactie verlaagt. Zo'n antistof heeft

dus een katalytische werking. Voor deze katalytisch actieve antistoffen is wel de term *abzymen* gesuggereerd. De 'ab' in deze samentrekking staat voor 'antibodies', antistoffen.

Enkele abzymen bewerkstelligen dat een reactie zo'n honderd tot een miljoen maal sneller verloopt; een zeer respectabele prestatie. Eiwitchemici proberen de snelheidsverhoging verder op te krikken via *protein engineering*. Protein engineers vervangen heel nauwkeurig aminozuren op specifieke plaatsen in een eiwitketen, zo dat het eiwit – hopelijk – betere eigenschappen verkrijgt. Protein engineering is een boeiend samenspel van knutselen aan



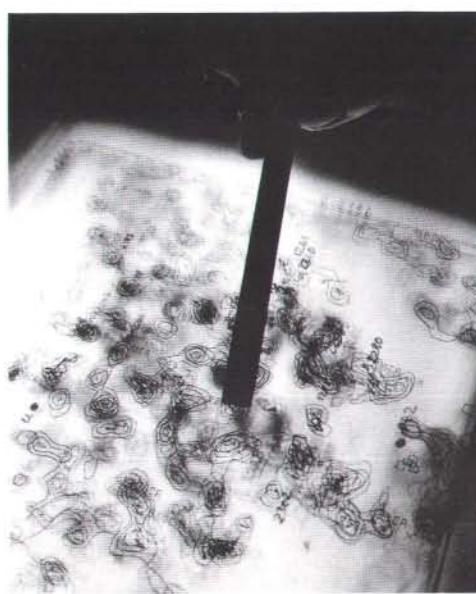
9



10

9 en 10. De overgangstoestand van een reactie is zeer instabiel, daarom maakt men voor katalytische antistoffen eerst een stabiel analogon van de overgangstoestand. Vervolgens wekt men daartegen antistoffen op. Enkele van de gevormde antistoffen kunnen een katalytische werking hebben, als ze de overgangstoestand van een reactie beter binden dan het substraat of het product, en zo de energieberg van de reactie verlagen.

11, 12 en 13. Vanwege de grootte van antistoffen is röntgendiffractie de enige manier om de ruimtelijke structuur ervan op atomair niveau op te helderen. Het eiwit wordt zeer zorgvuldig gezuiverd (11), gekristalliseerd en in een röntgenbundel geplaatst. Van enkele honderdduizenden afgebogen bundels wordt de intensiteit gemeten. Na heel wat berekeningen ontstaat een weergave van de elektronendichtheid (12), waarin de loop van de eiwitketen te volgen is. Computer-graphicssystemen (13) zijn essentieel voor het verkrijgen van een nauwkeurig model van het molecuul.



12



13

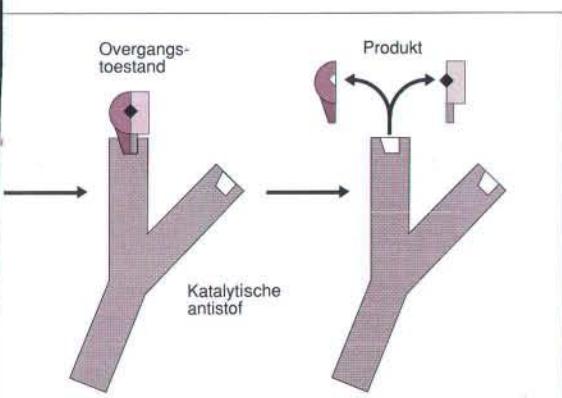
DNA, modelleren van molekülen op een beeldscherm en eiwitstructuur-bepalingen. Het is een heel algemene onderzoeks methode, die niet alleen op enzymen of abzymen, maar op elk eiwitmolekül kan worden toegepast.

Het verbeteren van de katalytische werking van een abzym — en ook van een enzym — via protein engineering is een formidabele uitdaging. De specificiteit van abzymen zal eenvoudiger te verbeteren zijn dan de efficiëntie van de katalyse. Bij een katalytisch proces moet de katalysator namelijk bindingen verbreken en maken. De energiebarrières die daarbij optreden zijn uiterst gevoelig voor kleine veranderingen

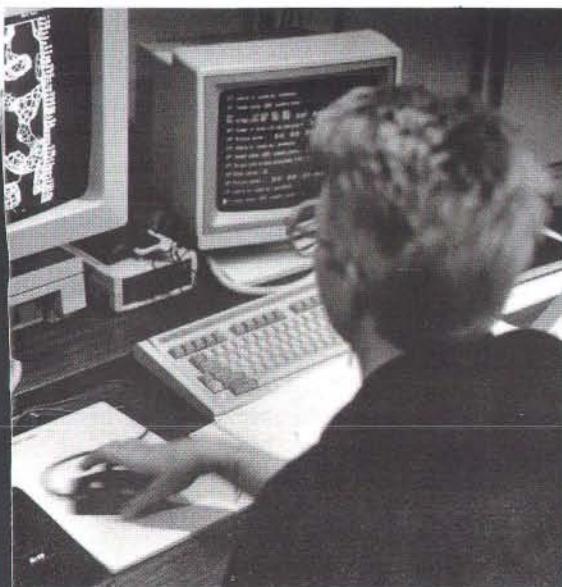
in de posities van atomen. De huidige *molecular-modelling*-theoriën en de bijbehorende computerprogramma's zijn nog niet echt goed in staat om de vereiste nauwkeurigheid van enkele tientallen picometers te realiseren. Met name het effect van water op opgeloste eiwitten is moeilijk in te schatten.

Snel en eenvoudig

'Abzymologen' hebben in de korte tijd die ze bestaan al een elegante nieuwe benadering bedacht om antistoffen te variëren. De nieuwe procedure is in diverse opzichten sneller en



11

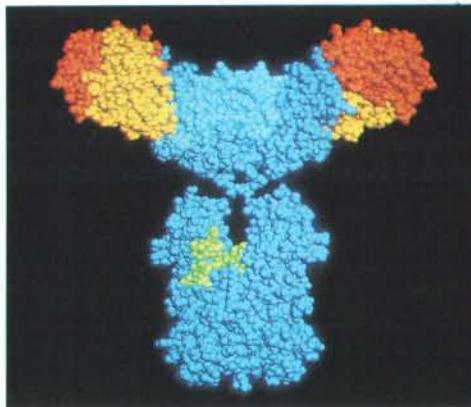


eenvoudiger dan de klassieke weg via monoclonale antistoffen. De onderzoekers maken niet langer complete antistoffen, maar slechts antigenbindende fragmenten (F_{ab}). Deze F_{ab} -fragmenten vormen ongeveer een derde van het totale antistofmolekül. De fragmenten missen de stukken antistof die een rol spelen bij het stimuleren van de immunologische afweerreactie, maar die zijn niet van belang voor de katalytische werking van een abzym.

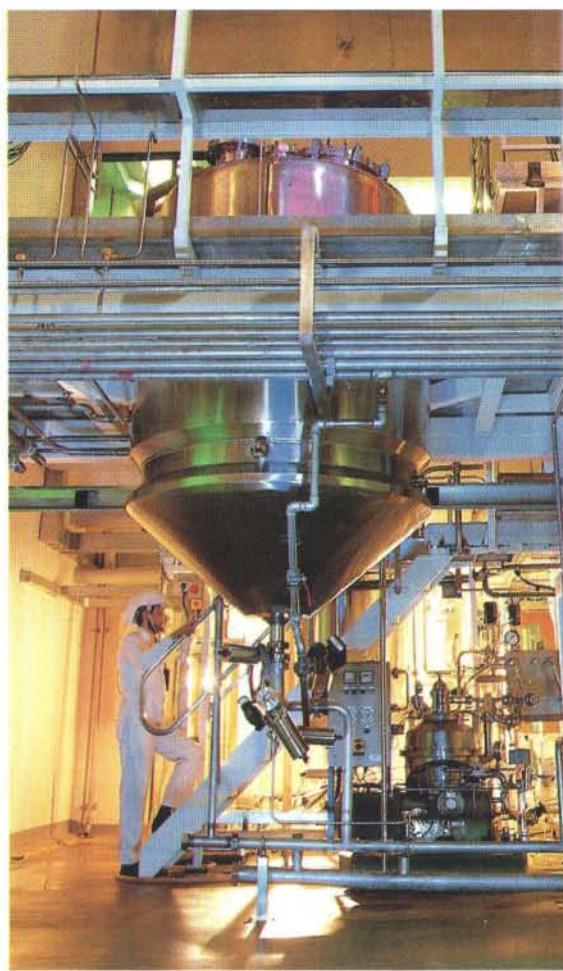
De F_{ab} -fragmenten worden niet, zoals de monoclonalen, uit gefuseerde cellen verkregen, maar uit bacteriën die de ingebrachte fragmenten tot expressie brengen. Door die genetische manipulatie slim aan te pakken, kan men een enorm aantal verschillende F_{ab} -fragmenten genereren. Fragmenten met interessante katalytische eigenschappen kunnen daaruit worden opgepikt.

Hindernissen

Het is duidelijk dat katalytische antistoffen en F_{ab} -fragmenten zich in een warme belangstelling mogen verheugen. En dat lijkt ook volledig terecht. Het is echter nog erg vroeg om in te schatten wat hun uiteindelijke waarde zal blijken. De inbouw van co-factoren, 'hulpstukjes' die door een zeer groot aantal enzymen worden gebruikt om moeilijke reacties te laten verlopen, zal bij abzymen wel problemen geven. De experimentele hindernissen lijken het echter meer dan waard om te worden genomen. Voor bepaalde industriële processen bestaan namelijk geen natuurlijke enzymen. Dankzij abzymen kan de chemische technologie straks geheel nieuwe paden bewandelen.



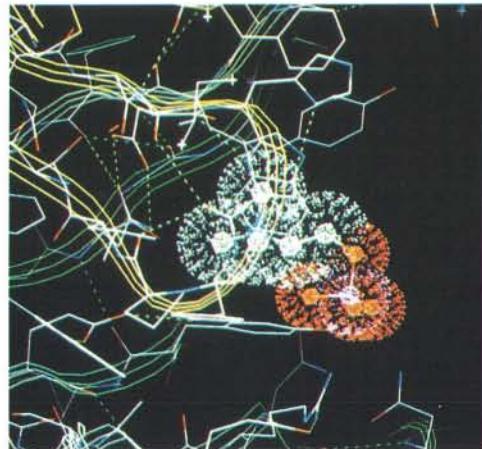
14



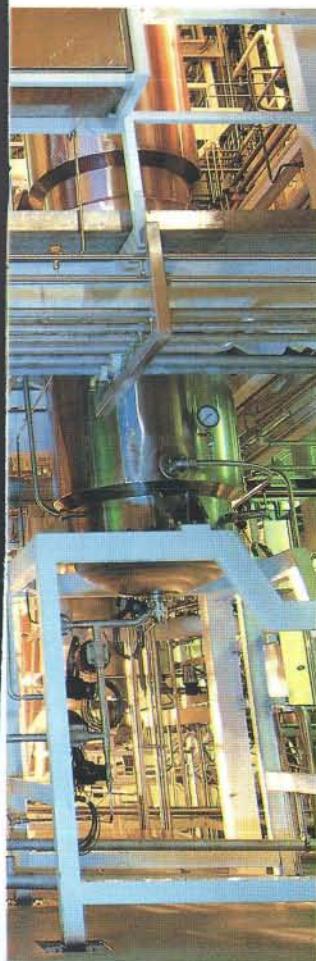
15

14, 16 en 17. Antistoffen zijn Y-vormige eiwitten. Zij binden antigenen aan de uiteinden van de 'armen' van de Y. De armen zijn de F_{ab} 's, de antigenen-bindende fragmenten. Afbeelding 16 laat een afzonderlijke F_{ab} zien, met aan het uiteinde een gebonden antigen. In detail (17) blijkt dat het antigen met waterstofbruggen (stippellijnen) aan de antistof is gebonden.

15. Monoclonale antistoffen worden tegenwoordig in enorme reactoren op industriële schaal geproduceerd. Voorlopig is het met katalytische antistoffen nog niet zover, maar als er eenmaal abzymen zijn ontwikkeld die daadwerkelijk in de biotechnologische industrie worden ingezet, is het betrekkelijk eenvoudig om ze in grote hoeveelheden aan te maken.



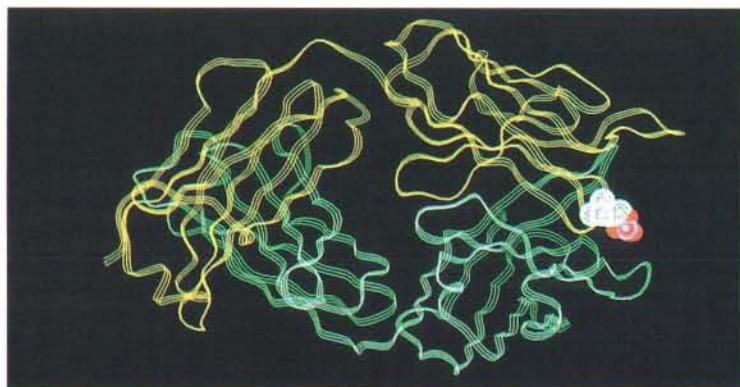
17



16

men zijn ook de recent ontdekte ribozymen — katalytische RNA-molekülen — uitermate boeiend. Geïnspireerd door deze ontwikkelingen zijn de scheikundigen steeds gedurfder aan de slag gegaan, met als resultaat een zich snel uitbreidend arsenaal synzymen — synthetische enzymen. Het wachten is nog op de eerste katalysatoren gevormd uit suikerketens — de sachazymen. Misschien zijn lipiden te beweeglijk maar zelfs de mogelijkheid van lipozymen — katalytische vetten — moet niet bij voorbaat worden uitgesloten.

Enzymen, abzymen, ribozymen, synzymen en de hypothetische sachazymen en lipozymen: ze vormen belangwekkende mogelijkheden voor schonere industrieën. En ze houden de belofte in voor vele medische toepassingen.



Uitzonderlijk interessant is dat abzymen ook varianten van menselijke antistoffen kunnen zijn. Dit openst de mogelijkheid om abzymen die door ons lichaam als 'eigen' behandeld zullen worden, in de bloedbaan te brengen. Als ze zijn ontworpen om ongerechtigheden in onze bloedvaten door te knippen, zou dit voor bijvoorbeeld de bestrijding van hart- en vaatziekten nieuwe perspectieven bieden. Gedurende hun verblijf van zo'n drie weken moeten ze zich wel correct gedragen ten opzichte van de cellen die we graag intact willen houden, maar misschien lukt dat met behulp van uiterst specifieke abzymen.

Het hele gebied der katalyse is trouwens sterk in ontwikkeling. Naast enzymen en abzy-

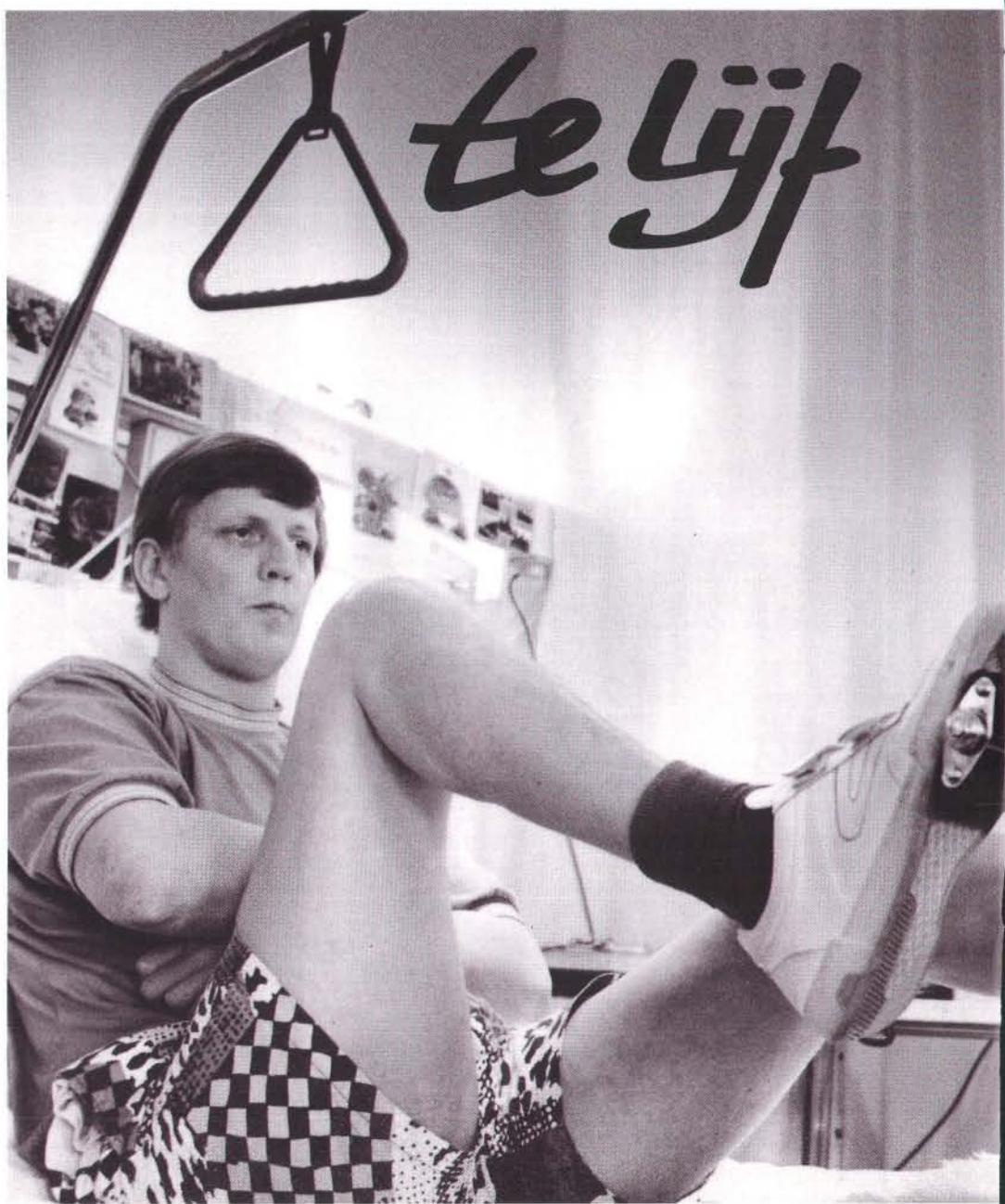
Literatuur

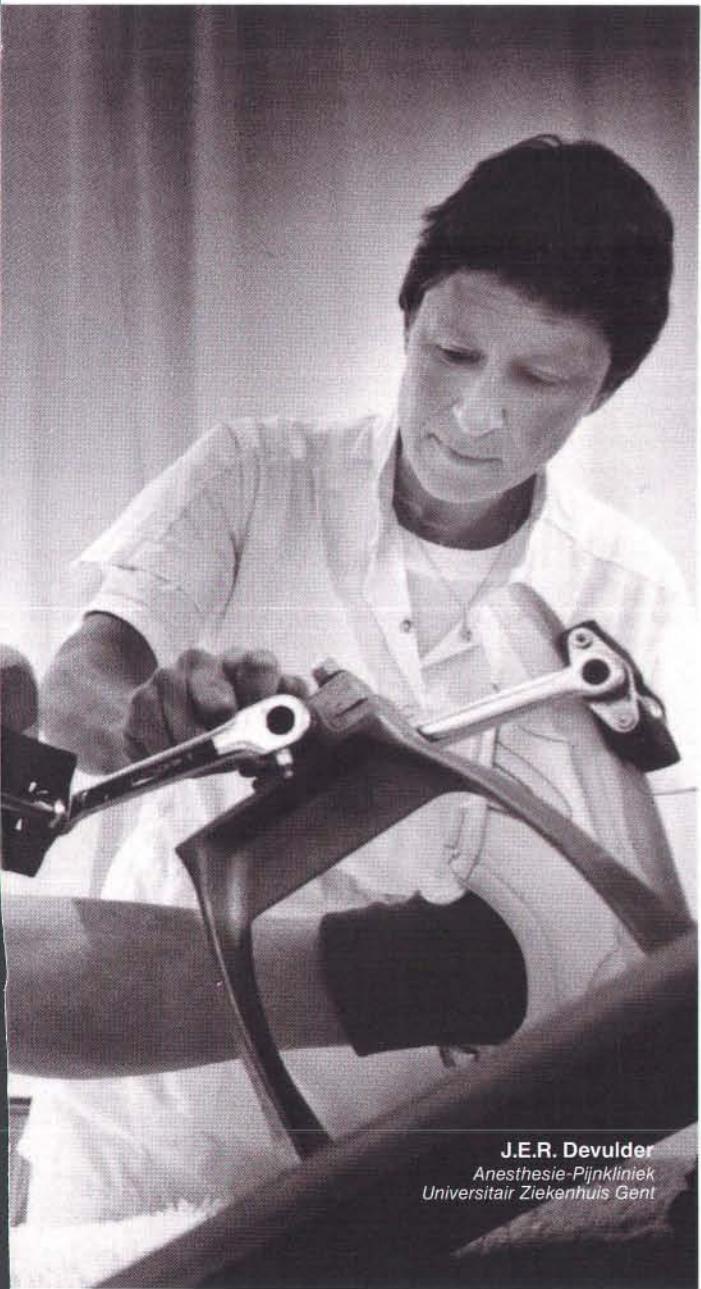
Tabak HF, Pleij CWA. Ribozymen - Nobelprijs scheikunde 1989. Natuur & Techniek 1989; 57: 12, 934-941.
Nolte RJM. Synzymen - Voorbeeld doet volgen. Natuur & Techniek 1990; 58: 4, 276-287.

Bronvermelding illustraties

Peter Artymiuk, University of Sheffield, UK: pag. 784-785, 16 en 17
Lennart Nilsson/© Boehringer Ingelheim BV, Alkmaar: 4
Enzymatix Ltd, Cambridge, UK: 5
MCA development BV, Groningen: 6
Elmer Spaargaren, Groningen: 11, 12 en 13
R. Huber, MPI für Biochemie, Martinsried, D: 14
Celltech Ltd, Berkshire, UK: 15
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

DE PIJN





Wie ooit met een blote voet in een spijker heeft getrapt, kan zich nauwelijks voorstellen dat een fakir genoeglijk op zijn spijkerbed ligt. Een snee in je vinger veroorzaakt een scherpe pijn die meestal snel weer verdwijnt. Ontsteekt de wond, dan zal die zorgen voor een aanhoudende pijn, maar ook die trekt na verloop van tijd weg. Daarentegen kan een reumapatiënt voortdurend pijn voelen, hoewel zijn omgeving daar vaak nauwelijks iets van merkt. De verschillende pijnkenmerken vragen om een veelzijdige aanpak in de bestrijding van pijn. Moderne therapieën zijn bijvoorbeeld zenuwstimulatie en zenuvernietiging. Maar ook het vertrouwde aspirientje blijkt een aardig steentje bij te dragen in de strijd tegen pijn.

J.E.R. Devulder
Anesthesie-Pijnkliniek
Universitair Ziekenhuis Gent

Deze man lijdt aan ernstige, chronische pijn en is invalide. De pijn staat lichamelijk herstel in de weg. Desondanks startte zijn arts een zeer intensieve training voor een verbetering van zijn conditie. Inmiddels blijken revalidatie en pijnbestrijding hand in hand te gaan en zet een algeheel herstel zich in.

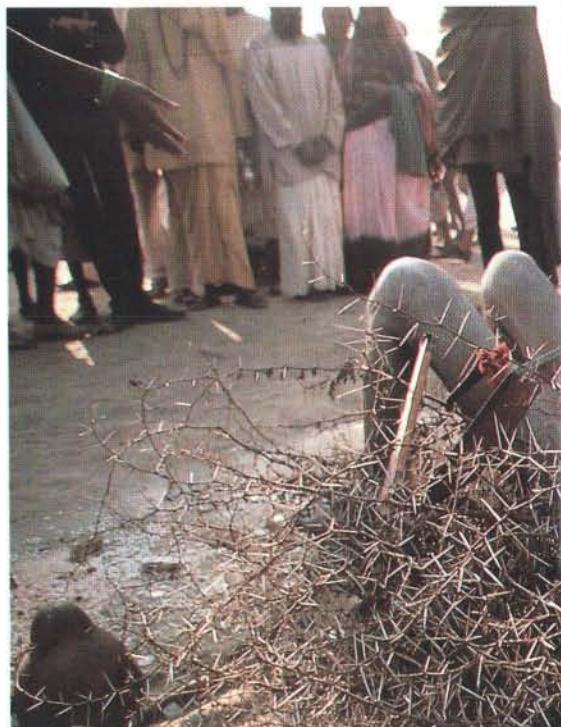
Pijn is voor ons een onaangename ervaring. Zo duidelijk als het gevoel van pijn voor de patiënt is, zoveel vragen roept het op bij de artsen. Wat zijn de oorzaken van pijn en hoe kunnen we haar het best bestrijden? Artsen kunnen acute pijn goed behandelen, maar rondom chronische pijn bestaan nog vele vraagtekens.

Op zoek naar meer helderheid werken artsen van verschillende medische specialismen samen in pijnklinieken. Zij maken daar gebruik van enkele nieuwe technieken zoals infraroodthermografie en microneurografie. Een goede kennis van zaken is nodig voor een doeltreffende pijnbestrijding. Pijn schreeuwt immers om verlichting.

De mens ervaart pijn, zodra pijnimpulsen via het ruggemerg de hersenschors bereiken. Diverse mechanismen kunnen pijn opwekken. Zo kunnen in een orgaan zoals de huid pijnprikkel ontstaan ten gevolge van zenuwprikkelende produkten, die vrijkomen bij een ontsteking of een verwonding.

De pijnprikkel kunnen ook hun oorsprong vinden in een rechtstreekse prikkeling of beschadiging van het zenuwweefsel. Zo'n prikkeling ontstaat bijvoorbeeld wanneer een tussenwervelschijf drukt op een zenuw die ontspringt uit het ruggemerg. Zenuwbanen geleiden deze 'zenuwpijn' naar de hersenschors. Als de impulsen daar aankomen, worden we ons de pijn bewust.

In het mysterieuze verschijnsel pijn staat ons zenuwstelsel centraal. Dat is een groot netwerk van zenuwcellen of neuronen met vele uitlopers of zenuwvezels. Bundels van zenuwvezels vormen zenuwen. Het zenuwstelsel bestaat uit een centraal gedeelte – de hersenen, de hersenstam en het ruggemerg – en een door het lichaam verspreid gedeelte – de aan- en afvoerende zenuwvezels. Op plaatsen waar neuronen contact met elkaar maken, kunnen ze impulsen doorgeven. Dit gebeurt door een van de vele neurotransmitters, ofwel overdrachtsstoffen. Neurotransmitters komen vrij uit het neuron dat de impuls aanvoert en wekken weer een impuls op in de aangrenzende zenuwcel. Aanvoerende vezels, zoals C- en A δ -vezels, sturen impulsen naar het centrale zenuwstelsel. C- en A δ -vezels zijn betrokken bij de geleiding van pijnimpulsen. Als er geen sprake is van pijn nemen zij bijvoorbeeld druk waar. Bij het voelen van pijn zijn geen speciale zintuigjes betrokken.

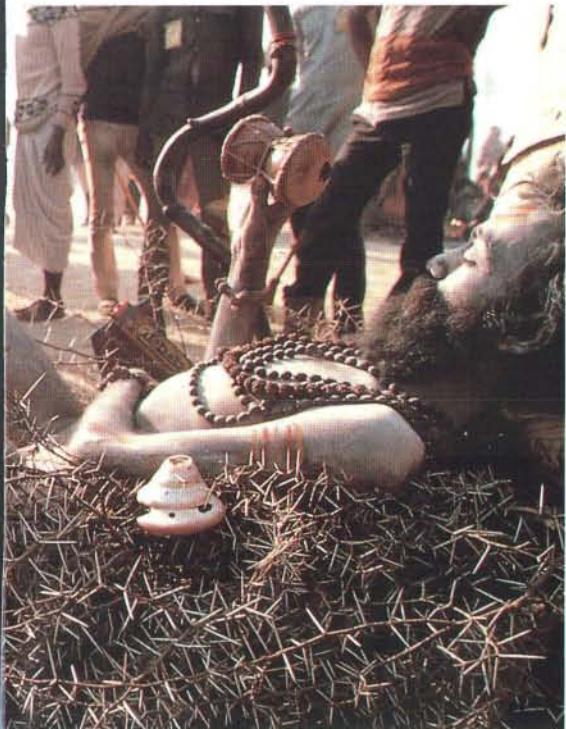


1

Wat is een pijnprikkel?

C-vezels geleiden impulsen met een lage snelheid naar de hersenen of naar de hersenstam. Bij weefselschade neemt de prikkelintensiteit toe en voelen we pijn. Deze heeft een zeurend en branderig karakter en blijft aanhouden zolang de beschadiging voortduurt. Dit gebeurt bijvoorbeeld in geval van kiespijn. A δ -vezels geleiden impulsen met een hoge snelheid naar bepaalde hersencentra. Als we bijvoorbeeld een vinger branden aan een vlam, geven A δ -vezels met een hoge frequentie impulsen door. Ze veroorzaken een scherpe, stekende pijn die van korte duur is.

Het zijn niet alleen de zenuwprikkelende stoffen en de pijngeleidingsbanen die een rol spelen bij het pijngevoel. Ons lichaam beschikt ook over een reeks pijndempende mechanismen, die de aangevoerde impulsen remmen. Ze komen voor in het ruggemerg en in de hersenen. Een gezond lichaam streeft naar een evenwicht tussen pijnaanvoer en pijndemping en regelt dit via neurotransmitters. Dit streven van



1. Pijnbeleving is voor iedereen verschillend, maar zoals deze Indiase fakir er mee omgaat, is wel heel bijzonder.

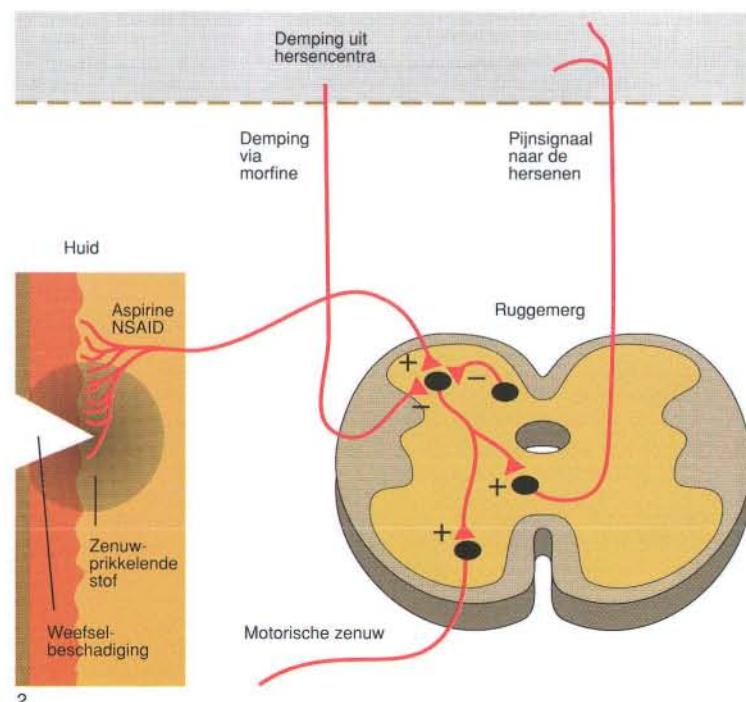
2. Pijnimpulsen afkomstig uit de beschadigde huid bereiken via het ruggemerg de hersenen en motorische zenuwen. Pijndemping verloopt via neuronen uit de hersenen of het ruggemerg. Morfine kan die pijndemping versterken. Aspirine vermindert het vrijkomen van zenuwprikkelende stoffen in de huid.

het lichaam naar evenwicht noemt men *pijnmodulatie*.

Een verstoerde balans van neurotransmitters die voorkomen in het ruggemerg, is een andere oorzaak van pijn. Normaal houden stimulerende en remmende neurotransmitters de zenuwactiviteiten daar in evenwicht. Bij een overschot aan stimulerende of een tekort aan remmende transmitters ontstaat pijn ter hoogte van bepaalde ruggemergszenuwen. Deze in het ruggemerg opgewekte pijnsignalen bereiken de hersenschors via tot nog toe onbekende zenuwbanen. De verschillende mechanismen die pijn veroorzaken, vragen elk om een eigen aanpak bij de bestrijding van pijn.

Eigen weerstand

Ons lichaam is in staat pijn te onderdrukken of op zijn minst te verzachten. De mogelijkheden voor pijndemping vinden hun oorsprong in de hersenen en het ruggemerg. Daar komen *endorfinen* voor, die ook wel lichaamseigen morfine worden genoemd. Endorfinen zijn peptiden en behoren tot een andere chemische klasse dan morfine, dat een alkaloïde is. De ruimte-



lij de structuur van deze stoffen komt voor een deel met elkaar overeen. Het zijn dezelfde receptoren die dit gelijkende deel herkennen, zodat de pijndempende effecten van endorfinen en morfine vergelijkbaar zijn. Endorfinen activeren bepaalde hersencentra, groepen zenuwcellen in de hersenen. Vanuit deze centra vertrekken zenuwbanen, waarbinnen de ene zenuwvezel de andere prikkelt door middel van neurotransmitters.

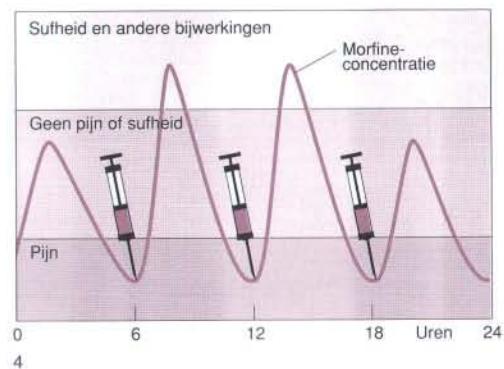
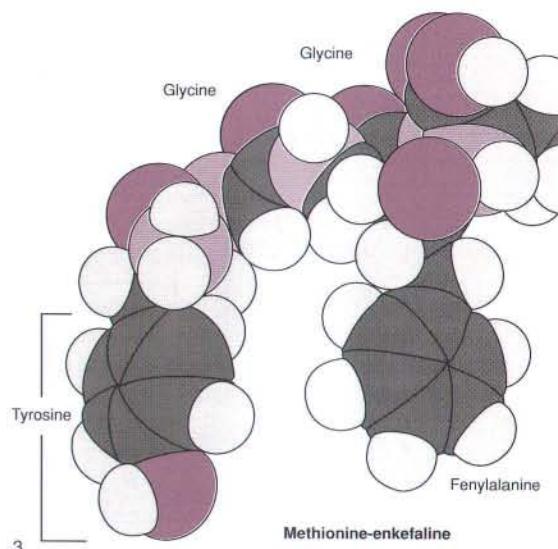
Uiteindelijk bereikt de 'pijn dempingsimpuls' de plaats waar hij de aangevoerde pijnimpuls zal remmen: er komen daar meer remmende dan stimulerende neurotransmitters vrij. Hierdoor neemt het pijngevoel af of verdwijnt het zelfs. Uit deze beschrijving blijkt dat prikkeling van bepaalde hersencentra, via een ingewikkeld zenuwnetwerk, zorgt voor een uiteindelijke remming van de pijnprikkels in het ruggemerg.

Ook in het ruggemerg zijn zenuwcellen aanwezig, die als zij worden gestimuleerd een pijnprikkel kunnen remmen. Nadat een arts de pijnstiller morfine via de bloedbaan heeft toege diend, treedt pijn demping op. Deze kan uitgaan van de hersenen en van het ruggemerg. De pijnstiller bereikt immers de hersencentra en in mindere mate het hersenvocht. Dit vocht circuleert en staat in verbinding met het vocht in het ruggemerg. Zo komt de pijnstiller ook bij het ruggemerg.

Wanneer een arts een morfine-achtige stof inbrengt in het ruggemergkanaal, zoals bij een ruggemergsprik, zal het pijn dempingsmechanisme in het ruggemerg overheersen. Na zekere tijd zal een deel van de toegediende pijnstiller de hersencentra bereiken en de pijn dempingscentra daar stimuleren. Uit deze uiteenzetting mag blijken dat ons gevoel van pijn een zeer complexe fysiologische samenhang vertoont. Daarom is de bestrijding van pijn zeer moeilijk.

Pijnstillers

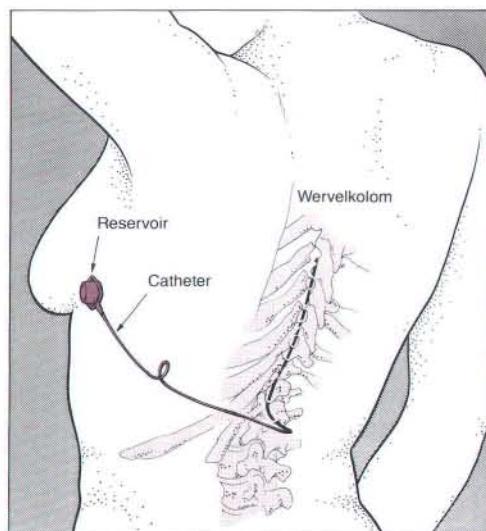
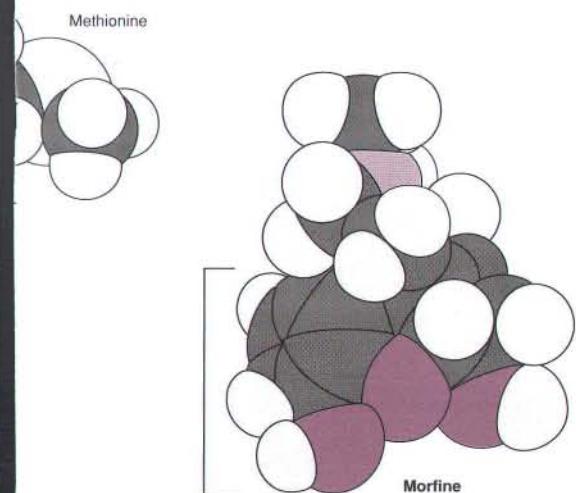
Er bestaan verschillende methoden voor het verminderen of het wegnemen van het pijngevoel. De bekendste is de toediening van pijnstillers. Andere methoden zijn zenuwstimulatie en zenuwdestructie. Diverse pijnstillende middelen spelen in op verschillende fysiologische mechanismen. Het middel aspirine helpt de productie van zenuwprikkelende stoffen te verhinderen. Het werkt op plaatsen van weef-



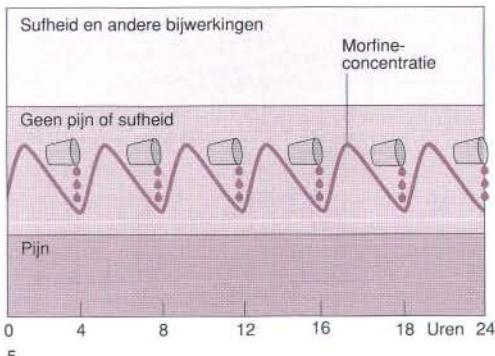
3. Dit zijn de driedimensionale structuren van methionine-enkefalin, een endofine, en van morfine. De haken geven de op elkaar lijkende delen aan, die door dezelfde receptoren worden herkend.

4 en 5. De dosis morfine die nodig is om een opvallende pijn te stillen, is hoog. De patiënt krijgt last van de bijwerkingen van morfine zoals sufheid. Bij een regelmatige toediening (5) volstaat een lagere dosis, die niet alleen de pijn voorkomt maar ook de bijwerkingen.

6 en 7. Een reservoir onder de huid bevat morfine die langzaam via een catheter naar het ruggemergsvocht vloeit. Een arts spuit door de huid en door de membraan van deze voorraadkamer (6) de morfine in.



6



5



7

selbeschadiging. Het pijndempend effect van het aspirine-preparaat blijft vaak beperkt tot beneden een bepaald pijniveau: een hogere dosis geeft geen betere pijnstilling. Wel treden dan vervelende bijwerkingen op; met name onze maag en darmen verdragen aspirine erg slecht.

Aspirine en NSAID's ('nonsteroidal anti-inflammatory drugs', tegen ontsteking gerichte geneesmiddelen, die in bouw geen overeenkomst vertonen met steroïden) remmen in het algemeen de productie van zenuwprickelende stoffen. De meeste NSAID's hebben een groter pijnstillend effect dan aspirine. Artsen gebruiken deze preparaten bij chronische ontstekingen zoals bij reuma en bij de bestrijding van kankerpijn. Ze gebruiken NSAID's ook tegen

de pijn na operaties of na ernstige verwondingen. Bij de behandeling van pijn waarbij zenuwprickelende stoffen een rol spelen, zoals bij een verwonding of een ontsteking, kan een combinatie van aspirine met morfine-preparaten doeltreffend werken.

Morfine is een narcotische pijnstiller; ze werkt bedwelmd. Morfine versterkt de pijn-dempingsmechanismen in hersenen en rugmerg. Een patiënt krijgt dit sterke pijnstillende middel bij ernstige pijn die aspirine alleen niet kan onderdrukken. Een groot nadeel is de verslavende werking van morfine, waardoor het gebruik van het middel beperkt blijft tot de bestrijding van kankerpijn.

De toediening van morfine gebeurt bij voorkeur in de vorm van tabletten of siroop. Bij bra-

ken, verstopping van het maagdarmkanaal of wanneer de pijnvermindering onvoldoende wordt, kan de arts overschakelen op een alternatieve toedieningsweg. Hij kan het morfinepreparaat onderhuids, rechtstreeks via het bloed of via het ruggemergkanaal toedienen. Hierbij kan een pomp zeer nuttig zijn. Door een continue injectie zorgt deze ervoor, dat er in het lichaam een constante hoeveelheid geneesmiddel werkzaam kan zijn. Met een goede pomp kan de patiënt zichzelf extra pijnstillen geven als hij daar behoeft aan heeft. De arts programmeert echter de regelmaat van dergelijke toedieningen, zodat een onverwachte overdosering uitgesloten is. Het gebruik van morfinepreparaten door middel van dergelijke 'pijnompogen' vindt momenteel ook toepassing in de bestrijding van pijn die optreedt na een operatie. In de moderne pijnbestrijding is deze 'patient controlled analgesia' of PCA een belangrijke ontwikkeling.

Naast aspirine en morfinepreparaten zijn antidepressiva en anticonvulsiva belangrijk voor het bestrijden van pijn. Deze middelen vinden allereerst toepassing bij respectievelijk depressieve toestanden en bij de preventie van stijnen. Ze hebben echter ook vat op zenuwpijnen die ongevoelig zijn voor aspirine en morfine. De middelen helpen het lichaam bij de modulatie van pijn, zowel in de hersenen als in het ruggemerg.

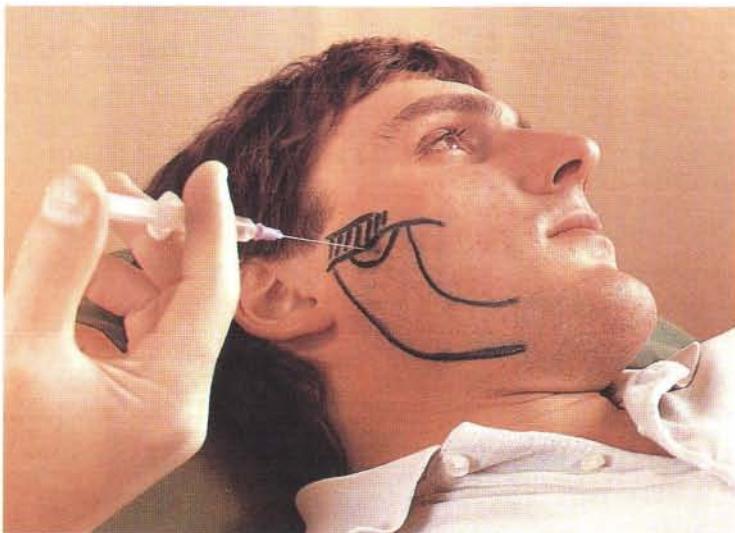
Zenuwstimulatie

Zenuwstimulatie of neurostimulatie is een techniek, waarbij een elektrisch apparaat het zenuwstelsel van buiten af of inwendig prikkelt. Het precieze werkingsmechanisme van neurostimulatie is nog niet volledig bekend. Wel staat vast, dat het pijnstillend effect vooral optreedt bij de behandeling van zenuwpijnen.

Er bestaan drie vormen van de zenuwstimulatie: huidstimulatie (transcutaan), ruggemergstimulatie en hersenstimulatie. Bij huidstimu-



8



9

800

8. Een in het lichaam aan te brengen morfinepomp geeft op gezette tijden een hoeveelheid pijnstiller af. De arts bepaalt de regelmaat en de hoogte van de dosis.

9. Een verdovend middel kan rechtstreeks zenuwen of zenuwknopen uitschakelen. Hier wordt een bovenkaakszenuw verdoofd om bijvoorbeeld kankerpijn te stillen.

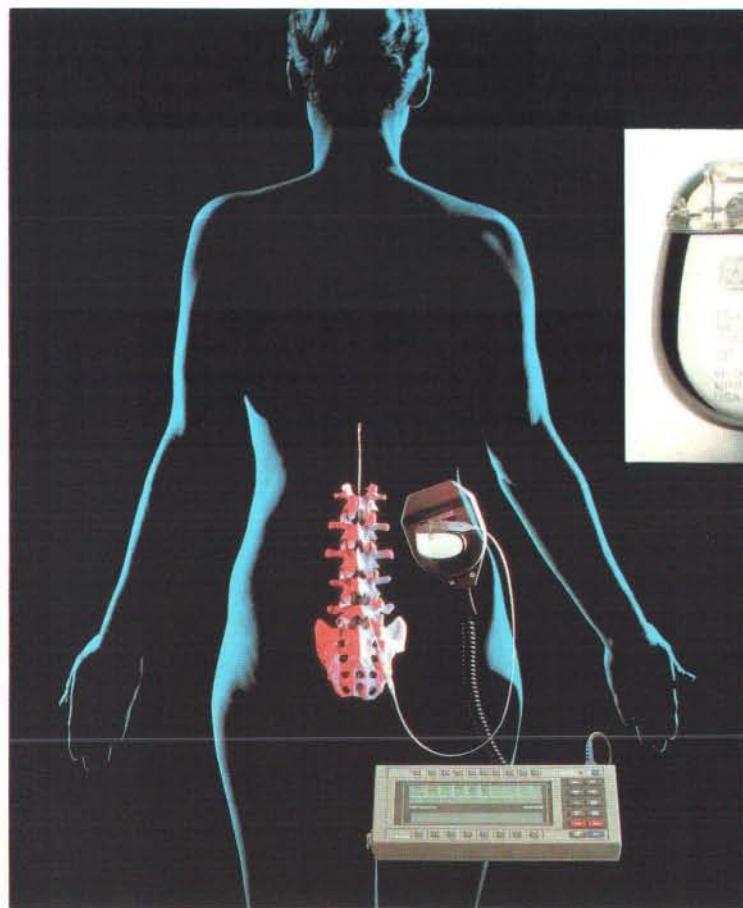
latie brengt de arts een positieve en een negatieve elektrode aan op de pijnlijke huid. Een uitwendige stimulator wekt impulsen (paresthesieën) op in de pijnzone. In geval van ruggemerg- of hersenstimulatie plaatst de arts de elektroden bij het ruggemerg of bij bepaalde groepen zenuwcellen in de hersenen (hersencentra). De stroombron is nu een onderhuids ingeplante batterij, zoets als een pacemaker. Deze methoden vinden alleen toepassing als transcutane zenuwstimulatie onvoldoende pijnvermindering geeft. Dit kan het geval zijn bij zenuwletselsoorten zoals ernstige brandwonden.

Het belang van zenuwstimulatie is groot. Ruggemergstimulatie kan zelfs amputatie van ledematen voorkomen. Als de wanden van bloedvaten verharden en dikker worden (aderverkalking), loopt de bloedvoorziening van be-

paalde lichaamsdelen of organen gevaar. In het ergste geval dreigen ze zelfs af te sterven. Ruggemergstimulatie kan dan een uitkomst zijn: ze onderdrukt de pijn en bespoedigt de herstel van slecht genezende wonden. Ze blijkt namelijk een gunstig effect te hebben op de circulatie van het bloed in kleinere bloedvaten.

Zenuwdestructie

Zenuwdestructie is erop gericht de geleiding van de pijnprikkels naar de hersenschors te onderbreken, zodat we ons geen pijn bewust worden. Een zenuwbaan kan worden onderbroken door een chirurgische ingreep, met warmte of koude of met chemische stoffen. Vroeger paste men deze technieken vooral toe bij de behandeling van chronische pijn.



10



11

10 en 11. Een arts kan op een paneel de impulsen instellen, die uitgaan van een onderhuids aangebrachte stroombron (11). Deze impulsen stimuleren het ruggemerg en zetten daarmee een pijnverminderingssysteem in werking.

Wanneer een chirurg een zenuwbaan doorsnijdt, beschadigt hij de huid. Vaak ontstaat ter hoogte van het snijvlak van de zenuw een klein zenuwgezwel. Dit kan een scheutachtige pijn veroorzaken. De zenuwdestructie met chemische stoffen, warmte of koude laat de huid beter intact en veroorzaakt meestal minder pijn dan een chirurgische ingreep.

Een geinjecteerde chemische stof, zoals alcohol of fenol, prikkelt een zenuw. Dit kan weer aanleiding geven tot een pijngevoel met een ander karakter dan de oorspronkelijke pijn. De vernietiging door warmte of koude geeft zelden aanleiding tot deze complicatie. Een gecontroleerde warmtebehandeling, ook *thermocoagulatie* genoemd, schakelt alleen de pijngeleidende vezels in een zenuw uit. Wordt in dit geval de warmte vervangen door een koude-

bron, dan spreken we van *cryoanalgesie*. Ook deze methode stilt de pijn maar het pijndempend effect duurt veel korter. Een warmteletsel kan maanden tot jaren pijndemping garanderen, terwijl de gunstige effecten van de bevriezingstherapie beperkt blijven tot enkele weken.

Ingebeeld of onzichtbaar?

Pijn is een van de belangrijkste klachten die mensen naar hun dokter voert. Na onderzoek kan de arts lang niet altijd vertellen wat de oorzaak van de pijn is. De klacht krijgt het etiket 'ingebeeld', en we spreken dan van psychogene pijn. Enkele nieuwe onderzoekstechnieken, zoals infrarood-thermografie en micro-neurografie, kunnen nuttig zijn bij het speuren naar de oorzaak van pijn.



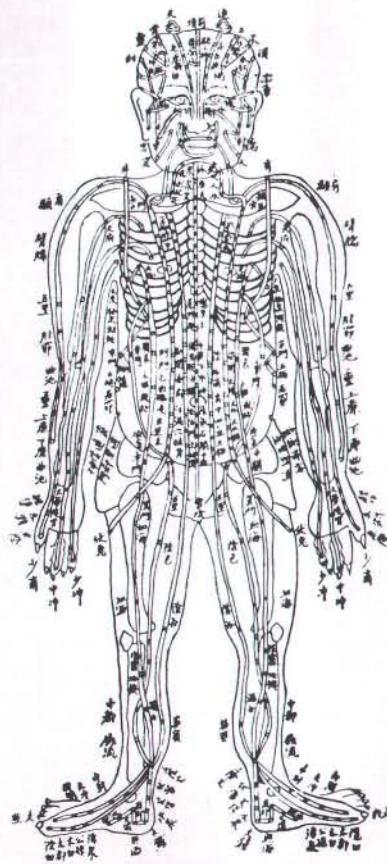
12

12. De visie op pijn en haar bestrijding is tijd- en cultuurgebonden. Deze kijk op buikpijn uit de oudheid strookt niet meer met onze opvattingen. Toch beschrijven wij in ons dagelijks leven pijn vaak met zulke beeldspraken.

13. De Chinezen beschouwen meridianen als een circulatiesysteem van energie. In dit systeem gevallen zij een groot aantal markante punten aan. Acu-

punctuur, het aanprikkken van specifieke energiepunten, is een manier waarmee de Chinezen pijn proberen te bestrijden. Waarschijnlijk beïnvloedt acupunctuur de productie van lichaamseigen pijnstillers; endorfinen.

14. Hoewel deze prent de werkelijkheid niet naar waarheid weergeeft, is het wel zo dat een heftige angst pijn kan onderdrukken.



13



14

Infrarood-thermografie geeft via kleuren de verdeling van de temperatuur weer van het hele lichaam of van een lichaamsdeel. Meestal neemt de computer een totaal lichaamsbeeld op en berekent hij de verschillen in temperatuur tussen de twee lichaamshelften. Normaal verwacht je geen verschillen, maar ontstekingen of zenuwletsels laten vaak op de plaats van het onheil een temperatuursverhoging zien en geven daarmee de plaats van de pijnbron aan. Met de resultaten van dit onderzoek kan de arts vaak een adequate therapie starten.

Een andere nieuwe techniek is de microneurografie. Een zenuw bestaat uit meerdere vezels. Microneurografie is in staat de elektrische activiteit van één enkele zenuwvezel te ontleden. Dan kan blijken dat bepaalde zenuwvezels met een abnormale frequentie impulsen doorgeven en verantwoordelijk zijn voor een ziekte-

beeld. Microneurografie is een zeer moeilijk en tijdrovend werk: iedere zenuwvezel moet apart worden aangeprikt alvorens die kan worden onderzocht.

Chronische pijn

De mechanismen achter chronische pijn zijn nog nauwelijks begrepen. Wel zijn er enkele aanwijzingen die ons op een spoor zetten naar verklaringen voor het ontstaan van chronische pijn.

Neuronen in het ruggemerg, die normaal geen rol spelen bij de pijngeleiding, kunnen van functie veranderen. Wat deze verandering uitsluit en hoe we haar kunnen verhinderen is niet bekend. Wel weten we dat het dan geen pijnprikkels zijn, die we uiteindelijk als pijn ervaren. Deze verandering in eigenschappen van

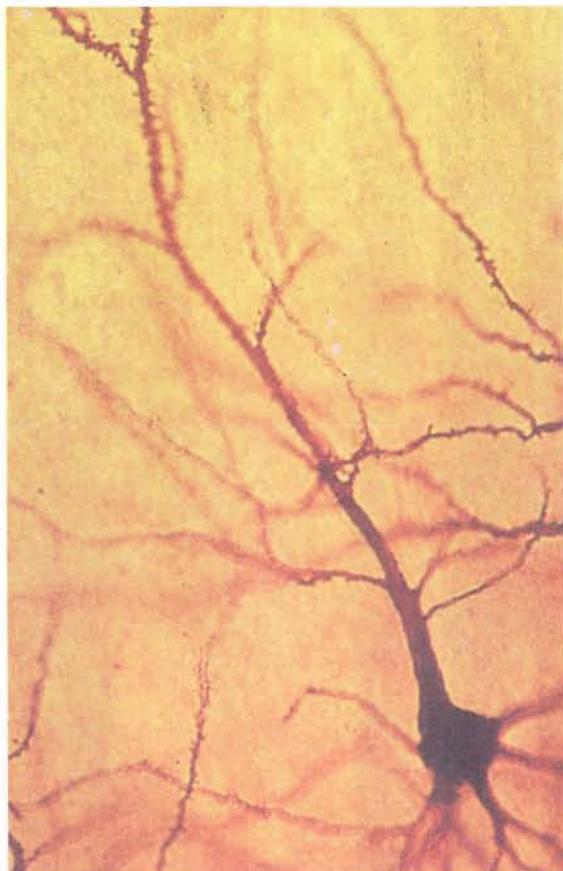
15. Pijn is een hele krachtige 'taal'. Ook kleine kinderen weten daarin mee te praten.

16. Microneurografie is een methode om de elektrische activiteit van één zenuwvezel te bepalen. Deze techniek is zeer arbeidsintensief.

17. Deze thermografische opname van twee knieën toont dat de linkerknie (met de witte en rode zones) ontstoken is. Thermografie is een belangrijk hulpmiddel bij het opsporen van een pijnbron in het lichaam.



15

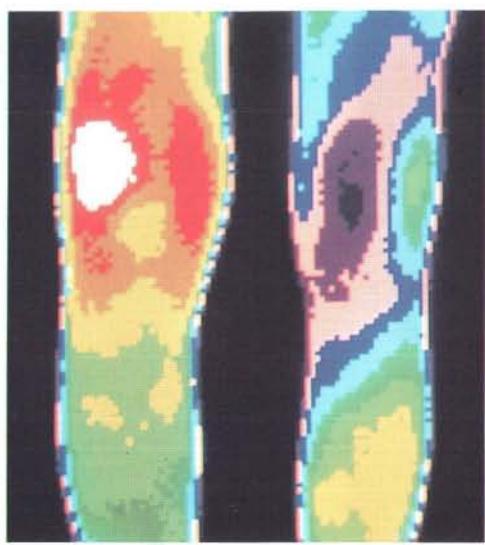


16

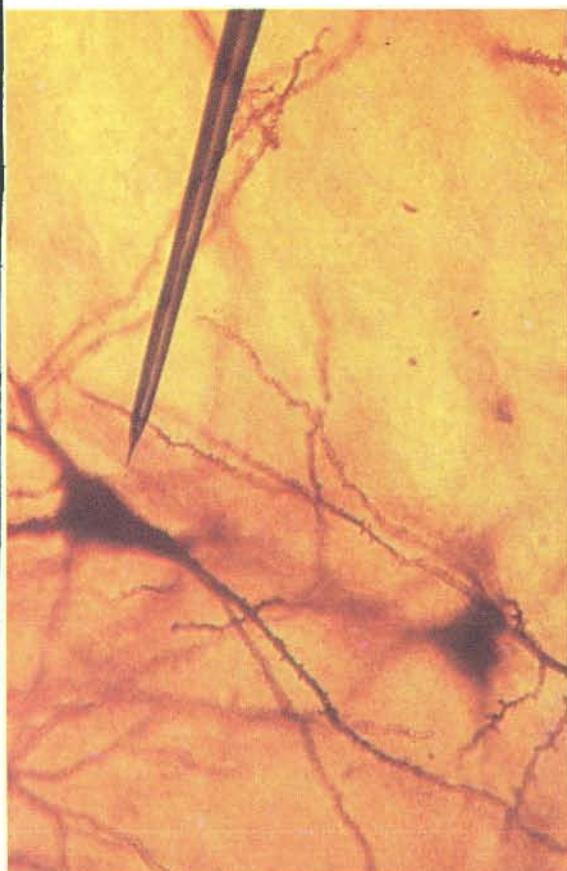
een zenuwcel noemt we *neuronale plasticiteit* en verklaart voor een deel de zenuwpijnen.

Als er voortdurend pijnprikkel in het rugmerg aanwezig zijn, maakt ons lichaam giftige neurohormonen. Deze zouden de pijnblokkende mechanismen van het lichaam kunnen vernietigen. Zo blijft de pijn voortduren. Een ander verschijnsel, waargenomen bij chronische pijn, is de zogenaamde *spatiale summatie*. Dit houdt in dat het aantal geleidende zenuwvezels veel groter is dan bij kortdurende pijn het geval is.

Deze verschijnselen — met hun onbekende achtergronden — maken een goede behandeling van chronische pijn zo moeilijk. Acute pijn is beter begrepen en we kunnen haar gemakkelijker te lijf. Het is daarom van groot belang om met de bestrijding van acute pijn, chronische pijn te voorkomen.



17



C-fos

Spasticiteit is een voorbeeld van een ziekte, die zich voordoet als de stimulerende en de remmende neurotransmitters in het ruggemerg niet met elkaar in evenwicht zijn. Het aanvullen van een tekort aan neurohormonen in het ruggemerg is een afdoende therapie. Via een ruggemergcatheter brengt een volledig in de huid geïmplanteerde pomp een juiste hoeveelheid neurohormoon op de juiste plaats.

Het probleem van pijn is helaas veel complexer dan een eenvoudig te verhelpen tekort aan neurotransmitters. Het aantal van deze stoffen dat bij pijn betrokken is, is veel groter dan bij de spasticiteit. Naast de neurotransmitters bestaat ook het *C-fos* dat in een bepaalde relatie staat tot pijn.

C-fos is een verbinding die bij muizen bot-

kanker kan veroorzaken. Voor ons is het *C-fos* een lichaamseigen stof; het is aanwezig in zenuwcellen van het ruggemerg. Welke functie het *C-fos* daar heeft is niet bekend. Wel weten we dat toestanden van pijn zowel de hoeveelheid als de verdeling van het *C-fos* in het zenuwstelsel veranderen. Deze wijziging gaat steeds gepaard met veranderingen in de hoeveelheid van endorfinen zoals enkefaline of dynorfine. Aan de hand daarvan zou bepaling van de hoeveelheid *C-fos* een nuttig middel kunnen zijn voor het onderzoeken van pijn.

Helaas duidt het *C-fos* niet alleen op pijn: het komt ook voor in het netvlies van het oog, nadat daarop licht is gevallen. In de hippocampus, een zenuwcentrum in de hersenen, neemt de *C-fos*-activiteit toe nadat zich stuipen hebben voorgedaan.

Uit het voorgaande blijkt dat er nog veel wetenschappelijk onderzoek nodig is. Toch mogen we alle heil niet alleen van de toekomst verwachten. Bestaande therapieën zullen steeds hun waarde blijven behouden. Warmte- en koudetherapie, de behandeling met geneesmiddelen en de zenuwstimulatie zijn daar goede voorbeelden van. In vele gevallen bieden deze therapieën al een behoorlijke oplossing. We zijn in staat acute pijn goed en gemakkelijk te behandelen. Maar op het gebied van de chronische pijn kunnen we nog een hele vooruitgang boeken.

Literatuur

- Vecht ChJ, Alting Van Geusau RB. Oorzaken van pijn uitgaande van het perifere zenuwstelsel. Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde 1990; 134, 59-68.
 Devulder J, e.a. Spinale toediening van morfine of analogen in de behandeling van maligne pijn. Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde 1989; 45, 347-352.
 Snyder S, Psychofarmaca, hersenen onder invloed. Natuur & Techniek, Maastricht/Brussel 1989.

Bronvermelding illustraties

- Elmer Spaargaren, Groningen: pag. 794-795, met dank aan dr W.J. Meyler, Academisch Ziekenhuis Groningen
 ABC-press, Amsterdam: 1
 Archief Natuur & Techniek: 3, 12
 Pharmacia, Brussel: 6
 Medtronic, Brussel/Eindhoven: 7, 9, 10
 Uit: Regionalanästhesie. Wedel/Holstein: Astra Chemicals GmbH, 1989; pag. 249: 8
 The Mansell Collection, Londen: 13
 Transworld Features Holland BV, Haarlem: 14
 Uit: Hubel D. Visuele informatie. Maastricht/Brussel: Natuur & Techniek, 1990: 15
 Prof J. Dequeker, Afd. Rheumatologie, KU Leuven: 16

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

Als er een moeilijk probleem is, stellen we in Nederland een commissie in. De opkomst van nieuwe technologieën is zo'n commissie-onderwerp. Hoe moet het met de steeds verder oprukkende medische technieken? Waar leggen we de grens tussen leven en dood? Welke manipulatie met ons DNA achten we aanvaardbaar? Hoe gaan de informatiestromen in de samenleving van morgen lopen en wie moet ze controleren? Tientallen dilemma's komen op ons af en veranderen in evenzovele controverses. We willen niet alleen dat deskundige commissies de ontwikkeling voor ons verkennen. We hopen vooral dat ze ons de weg wijzen naar algehele overeenstemming. Consensus is het ideaal van de commissiecultuur.

Dat zal de komende jaren spaak lopen. Dat is de mening van dr Michiel Schwarz, leider van het project *De technologische cultuur* van politiek-cultureel centrum De Balie in Amsterdam. "We zullen moeten accepteren dat er steeds meer problemen komen waarover fundamentele verdeeldheid bestaat. Het consensusmodel zal uit elkaar vallen", aldus de socioloog/politico-loog Schwarz. Hij baseert dit op zijn theoretisch onderzoek naar de relaties tussen politiek, technologie en sociale verhoudingen. De meest recente vrucht daarvan is het boek *Divided we stand – Re-defining politics, technology and social choice*, dat hij samen met de Britse antropoloog dr Michael Thompson schreef. Het boek borduurt

RUZIE

Paul Wouters

OVER DE TECHNOLOGIE

Michiel Schwarz meent dat het steeds moeilijker zal worden overeenstemming te bereiken in technisch-wetenschappelijke conflicten.



voort op het proefschrift van Michiel Schwarz dat hij aan de universiteit van Londen verdedigde en op het onderzoek dat Thompson onder andere bij IIASA, International Institute of Applied Systems Analysis, verrichtte.

Het boek is een sterk pleidooi voor verdeeldheid. We moeten volgens de schrijvers afstappen van het idee dat er een eenduidige, objectieve manier van redeneren en waarnemen van de werkelijkheid is, hoewel er ook punten bestaan waarover geen discussie (meer) bestaat, die vanzelfsprekend zijn. Er zijn meerder vormen van redelijkheid. "Daarom kun je er niet zo maar van uitgaan dat rationele

mensen het met elkaar eens zullen worden over de oplossing van een probleem als genetische manipulatie of energievoorziening", aldus Schwarz. "De oorzaak daarvan is dat ze het probleem niet op dezelfde manier zien." Schoolvoorbeeld is de discussie over kernenergie. Na het ongeluk in Tsjernobyl besloot de regering de besluitvorming over kerncentrales op te schorten. Zij wilde eerst meer weten over de oorzaken van de ramp. Daarmee suggereert dat objectief onderzoek naar 'de feiten' uitsluis zou geven over de veiligheid van kernenergie. Het energiedebat van de laatste tientallen jaren heeft echter volgens

Schwarz en Thompson laten zien dat deze verwachting nooit zal uitkomen. Domweg omdat de verschillende partijen (energiebedrijven, milieubeweging, consumenten, overheden) vanuit een geheel verschillende optiek redeneren. Ze zijn het niet eens over wat 'het energieprobleem' is. Het gevolg is dat de deskundige van de kerncentrale en die van de milieubeweging de dingen zullen blijven kruisen, hoewel ze beide even competent zijn. Hun meningsverschil komt voort uit een botsing in verschillende culturen. Ze kijken door een andere bril. Volgens Schwarz hebben we allemaal zo'n bril op, die bepaalt wat we belangrijk vinden, welke zaken we 'feiten' noemen en hoe we ons zelf zien. Die bril kan niet af: er is geen objectieve werkelijkheid. Bovendien is het onwenselijk als we allemaal dezelfde bril op zouden zetten: dan verstart de maatschappij. "Dat is de paradox", zegt Schwarz, "de samenleving ontwikkelt zich doordat de verschillende manieren van kijken op elkaar botsen. Maar dat kan alleen als die verschillende culturen doen alsof ze de waarheid in pacht hebben."

De analyse van een bodemonster levert een schijnbaar eenduidige uitkomst op over de vervuiling van de grond. Over wat er vervolgens moet gebeuren zijn de meningen verdeeld (foto: Michel Pellanders/Hollandse Hoogte)



WC-blokje

Hij en zijn Britse collega beschrijven in hun boek een theoretisch model waarmee ze het bestaan van de diverse optieken verklaren. Ideeën uit de ecologie combineren zij niet in een theoretisch model uit de antropologie. Deze samenvoeging noemen de auteurs 'de culturele theorie'. Michiel Schwarz: "Ons model is geen doel, maar een middel. We poggen er meer inzicht mee te krijgen in de wisselwerking tussen techniek en politiek." Een van de voorbeelden van Schwarz is de ontwikkeling

van een nieuw WC-blokje, enige jaren geleden. De producent gebruikte paradichloorbenzeen als het wasachttige materiaal waarin zeep en parfum werden verwerkt. De verkoop liep prima en werd uitgebreid tot de Bondsrepubliek Duitsland, totdat de Grünen in het geweer kwamen. Paradichloorbenzeen was gevaarlijk, betoogden zij en mocht niet in het milieu terechtkomen. De producent hield vol dat het volkommen ongevaarlijk was, maar trok het produkt toch terug. Binnen korte tijd kwam de firma met een vervanging van het benzenderivaat. Wat bleek? Het nieuwe produkt was ook volgens de criteria van de fabrikant in alle opzichten beter dan het oorspronkelijke: het rook prettier, loste de andere ingrediënten beter op en was bovendien gemakkelijker te produceren. Waarom had het

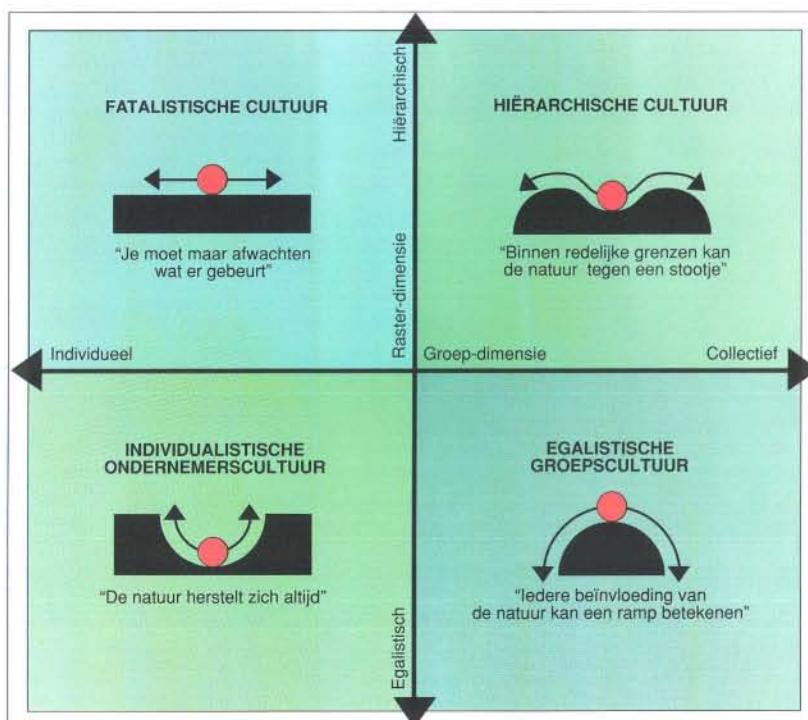
bedrijf dit blokje niet meteen gemaakt? Ze had immers alle kennis in huis, zo bleek achteraf. Volgens Schwarz is dit alleen te verklaren door ervan uit te gaan dat er verschillende 'redeneerculturen' bestaan. Binnen de multinational die de WC-blokjes produceert, overheerst een hiërarchische cultuur. Het bedrijf heeft al ervaring met paradichloorbenzeen en heeft de neiging om die kunde uit te breiden tot nieuwe activiteiten, zoals de WC-verfrisser.

De Grünen kijken met een heel andere bril naar het blokje. Ze staan al argwanend ten opzichte van dit soort kunstmatige geuren en gaan er bovendien van uit dat niets mag worden toegevoegd aan het milieu, tenzij bewezen is dat het onschadelijk is. Op het moment dat zij er in slagen voldoende steun te verwerven, doorbreekt hun houding

die van de multinationale hiërarchie. Het bedrijf ziet zijn strategie geblokkeerd en moet van koers veranderen.

Op dat moment komt een derde partij in het geweer. Binnen het bedrijf blijken ook andere zienswijzen te bestaan, die tot dan toe niet sterk naar voren kwamen. Zij formuleren nu de oplossing: een ander WC-blokje, gebaseerd op een andere technologie.

Maar wie heeft nu eigenlijk beslist welk WC-blokje er moet komen? Niet de hiërarchie binnen de multinational, want die wilde doorgaan met paradichloorbenzeen. Niet de Grünen, want die deden niets meer dan het stopzetten van het zoveelste milieu-onveilige produkt. Tenslotte namen ook de slimme technici binnen het bedrijf de beslissing niet: ze maakten slechts gebruik van de ontstane situatie. De beslissing is ergens in de wisselwer-



De antwoorden op de vragen 'wie ben ik?' (groepsdimensie) en 'hoe moet ik me gedragen?' (rasterdimensie) leveren vier culturen op



Michiel Schwarz
(foto: Bob
Bronshoff/
Hollandse
Hoogte)

"We moeten accepteren dat over steeds meer technische problemen fundamentele verdeeldheid bestaat"

king tussen de verschillende partijen ontstaan. Dit is er één van de oorzaken van dat de technologische ontwikkeling vaak de schijn wekt van een autonoom proces, waar we niets aan kunnen veranderen. Uit het verhaal is echter tegelijkertijd duidelijk dat een WC-blokje niet alleen een technisch maar ook een sociaal produkt is.

Onontwarbare kluwen

Dat is een van de uitgangspunten van de culturele theorie van Schwarz en Thompson. Technologie is niet een neutraal ding of proces, maar is onverbrekelijk verbonden met de sociale verhoudingen.

In de praktijk van alledag zijn er geen aparte zaken als 'politiek', 'technologie' en 'sociale verhoudingen' die vervolgens met elkaar in wisselwerking treden. Nee, in het dagelijks leven is het één onontwarbare kluwen; we leven in een 'technologische cultuur'. In de sociale wetenschappen wordt er naar de mening van Schwarz en Thompson te veel gepoogd de maatschappij te onderzoeken door die kluwen in kluitjes op te delen. Zij stellen voor om de onontwarbaarheid van politiek, technologie en cultuur juist als uitgangspunt te nemen voor een nieuwe sociale theorie. Wat 'technisch' is en wat 'politiek', is in hun ogen geen vanzelfprekende zaak,

maar moet juist worden onderzocht.

De beide sociale wetenschappers bouwen voort op de meer algemene ontwikkeling in het onderzoek van wetenschap en techniek. Wetenschap is niet het onthullen van de waarheid der natuur, maar is een door en door menselijk produkt, mede bepaald door de verhoudingen in de maatschappij. Daarbinnen bestaan verschillende interpretaties van de werkelijkheid; Schwarz en Thompson brengen die in kaart. Zij laten het daar echter niet bij. In hun model bestaan vier mogelijke 'culturen', manieren van kijken die de interpretatieverschillen weergeven. Een *hiërarchische*, waarin veel nadruk ligt op correcte procedures en precies omschreven gezagsverhoudingen. Een *individualistische*, vergelijkbaar met de houding van de individuele ondernemer. Een *egalitaire*, waarin wel de nadruk ligt op de sociale groep, maar de leden daarvan onderling gelijk zijn. En tenslotte een *fatalistische* houding, die van de zwijgende meerderheid. Dit model is ontwikkeld door de antropoloog Mary Douglas op basis van onderzoek waarin de manier waarop mensen zichzelf zien en hoe ze met elkaar omgaan centraal staan.

Schwarz en Thompson combineren dit met een ander model. De ecoloog Holling was eveneens op een vierdeling uitgekomen toen hij onderzoek deed naar de manier waarop mensen de natuur bezien. Volgens hem zijn er de volgende mogelijkheden: 'de natuur herstelt zich altijd', 'iedere beïnvloeding van de natuur kan een ramp betekenen', 'binnen redelijke grenzen kan de natuur een stootje hebben, maar die grenzen mogen niet worden overschreden' en tenslotte 'je moet maar

**Achter zoiets eenvoudigs als een
WC-blokje blijken diverse 'redeneer-
culturen' schuil te gaan**

afwachten wat er gebeurt'. Volgens Schwarz en zijn collega passen deze vier benaderingen van de natuur wonderwel bij de vier verschillende culturen uit de antropologie. De individualist gelooft heilig in de 'onzichtbare hand van de markt' en combineert dat met een onverwoestbaar optimisme over de kracht van de natuur. Het lid van de milieubeweging daarentegen, levend in de egalitaire cultuur van een 'sociale beweging', ziet vooral de fragiliteit van het natuurlijke evenwicht. De hiërarchische houding die onder andere bij overheden de bovenstoep voert, legt de nadruk op juiste procedures en komt al snel tot het formuleren van maximaal toegestane waarden. De fatalist tenslotte gaat ervan uit dat het er toch allemaal niets toe doet.

Verfijning

"De kracht van dit model is dat het een theoretische basis lebt voor empirisch sociaal onderzoek", zegt Michiel Schwarz. Zijn kritiek op andere benaderingen van technologie-onderzoek is dat het vaak niet meer oplevert dan een beschrijving. "Bovendien is ons model een verfijning ten opzichte van de gebruikelijke tweedeling waarbij slechts sprake is van voor- en tegenstanders van een technologie." Schwarz ziet vooral voordelen ten opzichte van de gebruikelijke modellen in de politiecologie. Daarin wordt uitgegaan van de belangen van de verschillende partijen. "Het verklaren van politieke processen vanuit belangen overheerst nog steeds in de politiecolo-

gie", aldus Schwarz. "Dat helpt ons echter niet veel verder. Want hoe bepalen de groepen of mensen wat hun belang is?"

Zijn voornaamste kritiek op de traditionele modellen in de politieke wetenschap is dat het sociale en institutionele karakter van kennis wordt ontkend. "Er wordt altijd gedaan alsof kennis individueel is. Maar zonder contact met andere mensen – zonder organisatie waarbinnen mensen moeten functioneren – zou er niet zoets als kennis zijn. Daarom graaf je dieper als je de ontwikkeling vanuit de cultuur analyseert."

In een Nederlandse versie van zijn proefschrift, uitgegeven door de NOTA (de Nederlandse Organisatie van Technologisch Aspecten-onderzoek) beschrijft Michiel Schwarz de controverse die tussen 1973 en 1978 bestond over de invoer van vloeibaar aardgas in Nederland. Vooral de vraag waar die import zou moeten 'aanlanden' speelde een belangrijke rol. In eerste instantie was de landelijke overheid sterk voor de Maasvlakte. (Het bouwen van een speciaal kunstmatig eiland voor de aanlanding was al snel afgewezen omdat het te duur zou zijn.) De plaatselijke overheid (gemeente, de Rijnmond, de provincie) had echter sterke bedenkingen. Zij vond de installatie te gevaarlijk. Daarop kwam de Eemshaven als alternatief naar voren. Daar maakten de lokale politici zich juist sterk voor het binnenhalen van deze nieuwe economische bedrijvigheid. Uiteindelijk koos de regering voor de Eemshaven.

Schwarz betoogt dat de gang van zaken met de traditionele politicologische concepten niet goed te verklaren is. De controverse tussen de verschillende partijen werd meer bepaald door de botsing van de verschillende optieken waarmee de regering, de milieubeweging en de lokale overheden aankeken tegen de vermeende risico's en de verwachte voordelen. Rondom het vloeibare aardgas ontstonden verschillende culturen die de besluitvorming probeerden te domineren. Daarbij werd echter niet gehandeld volgens het cynische concept 'alles mag'. Iedere partij bleef in de eigen zienswijze rationeel handelen. In de woorden van Schwarz en Thompson was er sprake van 'cultureel pluralisme': er zijn vier manieren om redelijk te zijn.

Het is niet toevallig dat Schwarz parallel aan zijn theoretisch onderzoek ook projectleider is van *De technologische cultuur*. Dit project van De Balie is er de afgelopen jaren in geslaagd het begrip 'technologische cultuur' als slogan ingang te doen vinden. Via lezingen en publicaties is het idee dat technologie in de eerste plaats een sociaal-cultureel fenomeen is, in bredere kring gemeengoed geworden. Over de mechanismen van de technologische cultuur bestaat echter nog veel onduidelijkheid. Het onderzoek op dit gebied staat nog in de kinderschoenen. Schwarz wil mede daarom de politiek-culturele kant van zijn project sterker met het wetenschappelijk onderzoek verbinden. Het zou een technologie-economie-cultuurnetwerk moeten worden met onder andere universitaire onderzoeksgronden.



DE ACHTERKANT VAN HET PAPIER

Simon Rozendaal

Als het om de relatie tussen papier en bossen gaat, circuleren er twee gevleugelde opmerkingen. Als eerste dat het gebruik van papier ten koste gaat van de bossen ('voor die krant zijn weer heel wat bomen gekapt') en ten tweede dat de komst van het elektronische tijdperk (*the paperless office*) het afscheid betekent van het papier. Beide noties kloppen niet.

In Finland, producent nummer één van schrijf- en com-

puterpapier in de wereld, groeit de totale hoeveelheid bomen nog steeds. Sinds de Tweede Wereldoorlog is er in Finland meer hout gekapt dan er nu in de Finse bossen staat. Desalniettemin zijn er anno 1990 meer bomen dan er ooit in dat Scandinavische land zijn geweest.

De verklaring is natuurlijk aanplanting. Sinds 1860 is er wetgeving die de vernietiging van bossen verbiedt en sinds 1906 heeft Finland een wet

die eigenaren van bossen verplicht om een herbebossingsplan in te dienen wanneer zij op hun grondgebied willen kappen. Dit is zo strikt geregeerd, dat de bosboeren hun geld pas van de bank kunnen halen als het herbebossingsplan is goedgekeurd.

Bosbouw is een van de allerbelangrijkste pijlers onder de Finse economie. Al werkt nog maar tien procent van de Finse bevolking in de hout-, pulp- en cellulose-industrie — tegen

De hout- en papier-industrie is een van de hoofdpeilers van de Finse economie (foto: Fins Nationaal Verkeersbureau)



vijftig procent in 1950 — nog steeds is een op de vijf Finnen direct of indirect afhankelijk van hout. De meerderheid van de Finse bossen is bovenindien particulier bezit. Ook dat helpt de zorg voor de natuur. Een Finse boer die al zijn bomen kapt om aldus meer geld te hebben, weet dat het in het koude klimaat vele tientallen jaren duurt voor de nieuwe aanplant opnieuw kan worden geoogst, en maakt aldus zijn kinderen brodeeloos.

Er wordt massaal aangeplant. Diverse Finse bedrijven, ondersteund door de staat, onderzoeken zelfs of het mogelijk is de herbebossing langs biotechnologische weg te stroomlijnen. Er zijn al diverse experimenten uitgevoerd om bomen te klonen en die te planten. De gedachte is om cellen van een extra goede boom te nemen, die met hormonen tot deling aan te zetten en uit die cellen vervolgens identieke plantjes (met exact dezelfde erfelijke eigenschappen) te laten groeien.

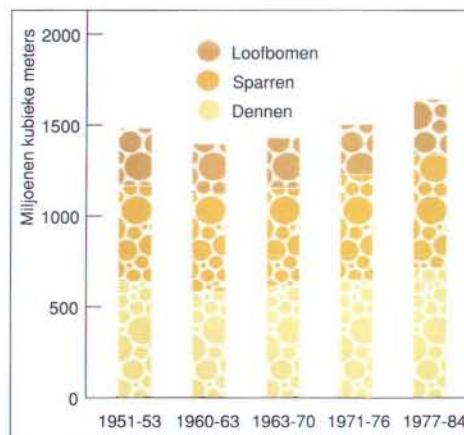
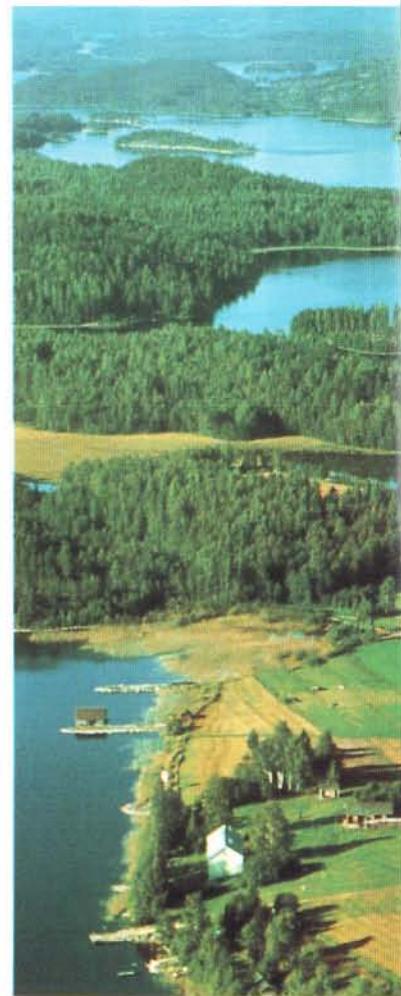
Vooral met berken is men al ver. In 1989 zijn 65 000 gekloonde berkeboomjes geplant en dit jaar zijn er zelfs 500 000 gekloond (op basis van ongeveer zeventig verschillende bomen) die volgend jaar geplant moeten worden. Tapani Korhonen, van het Finse bedrijf Enso-Gutzeit: "Klonen is de droom van een houtvester: elke boom even goed als de allerbeste." Bij dennen en sparren lukt het overigens nog niet zo goed. Terwijl de cellen van een berk uitgroeien tot jonge berkeklonen, houden de klonen van den en spar iets van de ouderdom van de boom waarvan ze afstammen.

De gedachte dat het lezen van een krant of een tijdschrift een milieu-onvriendelijke daad is, omdat voor het genoegen van de lezer grote stukken natuur

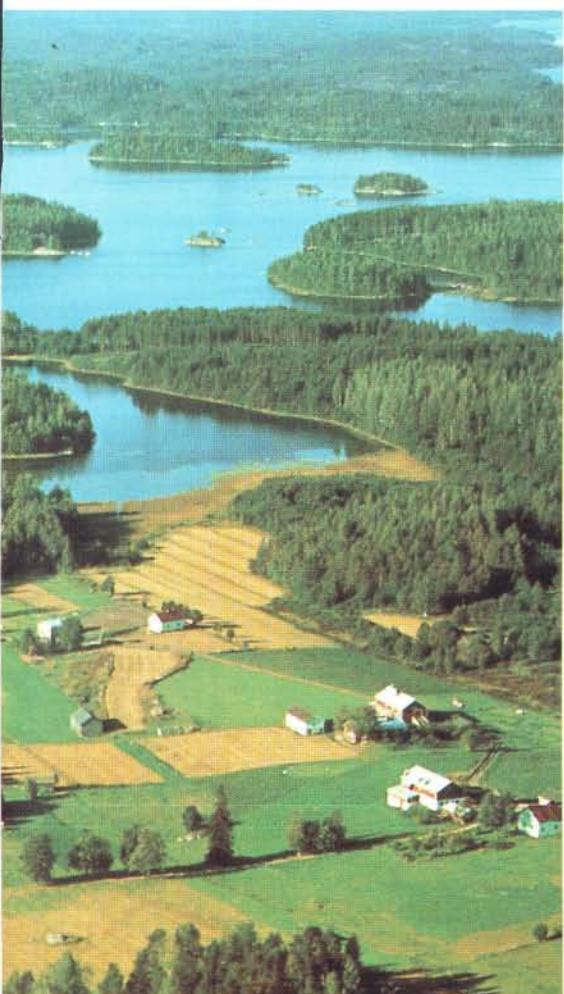
zijn gesneuveld, klopt dus niet. Het is eerder omgedraaid. Lezen beschermt de bossen. Veel papier komt uit landen als Finland en Zweden waar de papierindustrie aan de eigen toekomst denkt en zeer gebaat is bij herbebossing. Dat is dan ook een heel ander verhaal dan het tropisch regenwoud, waar nauwelijks wordt aangeplant. Lezen is dan ook veel boomvriendelijker dan bijvoorbeeld het eten met stokjes (bijna altijd van tropisch hout vervaardigd) in een Japans of Chinees restaurant, of het wonen in een huis met hardhouten kozijnen.

Wapen in de strijd

Dat er ooit zo iets als een papierloos kantoor zou kunnen zijn, is een even grote misvatting. In de jaren tachtig hoorde men dat vaak. De computer rukte op en op tal van symposia over elektronica, informatica, telematica en tal van andere ica-synoniemen, werd beweerd dat straks iedereen nog slechts op beeldschermen in plaats van papier zou kijken. Krantenlezen zou afgelopen zijn met de komst van teletekstachtige diensten, en termen als *electronic mail*,



**De groei van de levende houtvoorraad in de Finse bossen tussen 1951 en 1984
(bron: M. Salkinoja-Salonen)**



Dankzij een efficiënte herbebossing staan er nu in Finland meer bomen dan ooit tevoren, ondanks een gigantische jaarlijkse oogst (foto: Fins Nationaal Verkeersbureau - links - en het Finse ministerie van buitenlandse zaken)

hebben getuurd. De informatiewaarde van papier blijft uniek en de praktijk is dat de papiermarkt nu jaarlijks met drie à vier procent blijft groeien."

De politieke veranderingen in Oost-Europa zijn voor de papierindustrie ook uiterst gunstig. Immers, er bestaat een recht evenredige relatie tussen de mate van democratie in een land en het papiergebruik. Zoals voor groeperingen die iets willen veranderen de sten-



Een dikke krant is minder boom-onvriendelijk dan het eten met stokjes in een Chinees restaurant

wekten de suggestie dat papier over enige tijd net zoets zou zijn als turf: een overblijfsel uit grootmoeders tijd.

Even, heel even, hielden ze de adem in op de kantoren van de papierproducenten. Maar al snel had men in de gaten dat ook dit, net als veel andere claims van het elektronisch tijdschrift (bijvoorbeeld dat over niet al te lange tijd niemand meer naar het werk hoeft en thuis achter de computer zijn werk kan doen), slordig doordacht was en niet klopte.

Jan-Erik-Levlin, directeur van het Finse Pulp en Papier Research Instituut: "Tien tot vijftien jaar geleden waren er in de papierwereld veel discussies over het papierloze kantoor in het elektronische tijdschrift. Het is niet zo dat we bang waren maar er heerste pessimisme over de toekomst van papier. Dat was echter geheel ten onrechte. De werkelijkheid is dat het gebruik van computers de papierconsumptie juist stimuleert. Mensen willen iets op papier zien nadat ze op een beeldscherm

cilmachine (en misschien tegenwoordig de fax) ook altijd het voornaamste wapen in de strijd is.

Vervuiling

Een oud probleem bij de productie van papier is water- en lucht-vervuiling. Dat hangt samen met het feit dat het niet zo makkelijk is om uit een boomstam vellen papier te maken. Hout bestaat voor de helft uit cellulose en voor de andere helft uit hemi-cellulose en lignine. Cellulose is de

grondstof voor papier. Om papier uit hout te maken staan in principe twee methoden ter beschikking: malen en met chemicaliën behandelen. Beide hebben hun milieutechnische bezwaren.

Mirja Salkinoja-Salonen is milieuhogleraar aan de universiteit van Helsinki. In vloeiend Nederlands (ze studeerde in Amsterdam en was met een Nederlander getrouwd) legt ze de voor- en nadelen van beide methoden uit. Bij de chemische methode lost men de lignine op in loog. De cellulosevezels blijven daaroor intact over. Dit in tegenstelling tot het malen van de boomstammen waarbij de vezels kapot gaan. "Als ecoloog zeg ik dat malen ongunstig is omdat dan veel materiaal wordt verspild. Bovendien kost het malen bijzonder veel energie." Niet voor niets bezit een papierfabriek als Metsä-Serla dan ook vijftien procent van de aandelen van de twee Finse kerncentrales die in particuliere handen zijn (de andere twee, de door de Russen gebouwde centrales van Loviisa, zijn van de staat).

Bij de chemische methode wint men zelf energie, via de ecologisch aantrekkelijke warmte-kracht koppeling. Weliswaar wordt bij de chemische methode slechts de helft van het hout als papier benut, maar de andere helft wordt opgelost. Die oplossing wordt vervolgens ingedampt en het restant wordt verbrand. De warmte die daarbij vrijkomt wordt gebruikt als proceswarmte en om elektriciteit op te wekken. Daarmee kan het chemische proces in zijn eigen energiebehoefte voorzien.

Daartegenover staat dat het chemische proces nogal vervuilend kan zijn. Er wordt gewerkt met zwavelverbindingen (afhankelijk van de fabriek en het land met sulfiet

dan wel sulfaat) en bij het droogkoken komt, indien men geen maatregelen treft, veel zwaveldioxide (een belangrijk bestanddeel van zure regen) vrij.

Wel is de vervuiling door de chemische papierindustrie in Finland de afgelopen jaren sterk gereduceerd. Mirja Salkinoja-Salonen: "Per ton papier produceerde de industrie in 1974 dertig kilo SO₂." De milieumaatregelen hebben er toe bijgedragen dat Finland de internationale afspraak om de zwaveldioxide-vervuiling voor 1993 met vijftig procent van het niveau van 1980 terug te dringen, al voor 1990 had gerealiseerd.

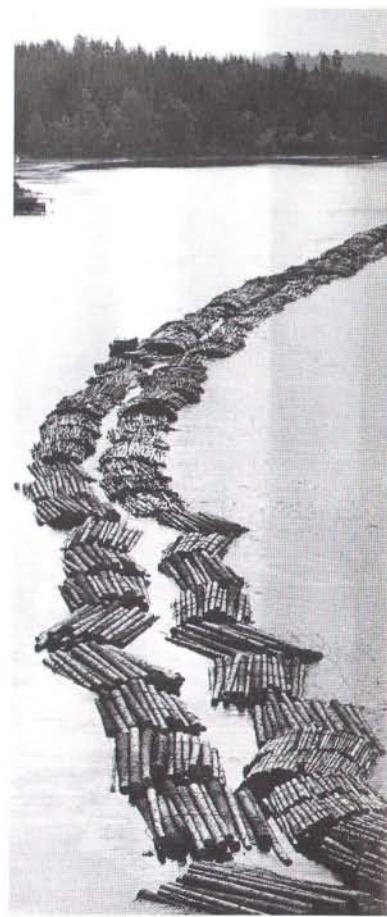
Op langere termijn hoopt de papierindustrie zelfs helemaal van zwavelverbindingen af te komen. Men hoopt de scheiding tussen cellulose en lignine tot stand te kunnen brengen met organische oplosmiddelen (ethanol, methanol, antrachinon, mierenzuur, azijnzuur). Een eerste proeffabriek moet in 1992 in Duitsland gaan draaien.

Ook op andere wijzen tracht de hout- en papier-industrie het milieu te sparen. Zo wordt er in de houtverwerkende industrie steeds vaker gebruik gemaakt van gelamineerd hout — op elkaar gelijmde houtlagen (zoals triplex maar dikker). In constructies hoeft van dit gelamineerde materiaal maar 65 procent van het volume van gewoon hout te worden gebruikt, omdat het gelamineerde hout sterker is. En in papier wordt steeds meer vulmateriaal (meestal een kleisoort) gebruikt. Voor de oliecrisis van 1973 zat er in papier maar 12 procent van dit vulmateriaal, tegenwoordig is dit gemiddeld 27 procent. Ook heeft meer dan tachtig procent van de papierfabrieken in Finland tegenwoordig een biologische waterzuive-

ring en moet dit voor 1995 honderd procent zijn.

Luiers met dioxine

Blijft over het milieuprobleem waar nogal wat papierbedrijven mee in hun maag zitten, omdat het zo moeilijk oplosbaar is: het bleken met chloorverbindingen. Om papier wit te krijgen moet aan de donkerbruine soep die ontstaat als hout chemisch is behandeld, een chloorverbinding worden toegevoegd. En chloor is een stof waar steeds meer mensen uit milieu-overwegingen van af willen. De meeste organische verbindingen waar een



chlooratoom in zit, hebben nare eigenschappen en zijn bovendien vaak moeilijk afbrekbaar. Het duidelijkste voorbeeld van zo'n vervelende chloorverbinding is de veelbesproken stof dioxine. Mede onder druk van allerlei milieu- en consumentenbewegingen (die onder andere hebben gedreigd met een boycott van wegwerpluiers, omdat daarin dioxine – in minuscule

hoeveelheden – zou zitten) probeert de industrie naarstig alternatieven voor chloor te vinden. In plaats van met puur chloor wordt tegenwoordig al vaak met chloordioxide gebleekt, wat al enige vooruitgang betekent. Ook probeert men steeds meer peroxyde (H_2O_2) en zuurstof als bleekmiddel te gebruiken en de houtpulp met enzymen te behandelen. Zo is men er in het

NATUUR & TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België:

Boechtstraat 15,

1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Advertenties:

H. Beurskens.

Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

Telefax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen:
0(0-31)43 254044 (tot 20.30 uur,
60k in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per
jaar, incl. porto): f 120,- of 2350 F.
Voor drie jaar: f 285,- of 585 F.

Prijs voor studenten: f 90,- of
1765 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto
(zeepost) of + f 45,- tot f 120,-
(luchtpost).

Losse nummers: f 10,95 of 215 F
(excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel:
Betapress BV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonnementen op **NATUUR & TECHNIEK** kunnen ingaan per
1 januari of per 1 juli (eventueel met terugwerkende kracht); doch worden
dan afgesloten tot het einde van het
lopende abonnementsejaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór
het einde van elk kalenderjaar, wordt
een abonnement automatisch verlengd
voor de volgende jaargang.
TUSSENTIJDSD kunnen geen abon-
nementen worden geannuleerd.

De Centrale Uitgeverij is ook uit-
gever van **DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK**.

Door een lidmaatschap te nemen be-
taalt u voor elk boek een serieprijs die
veel lager is dan de losse prijs. Voor
inlichtingen: 0(0-31)43 254044.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31
t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank NV te
Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel,
nr. 423-907 0381-49.

Dat er door de elektronische revolutie ooit zoets als een papierloos kantoor zou komen, blijkt een historische vergissing te zijn geweest

De lange weg van boom naar papier
(foto: Fins ministerie van buitenlandse zaken)

laboratorium in geslaagd om enzymen (hemicellulases) samen met chloordioxide te gebruiken, waardoor de hoeveelheid gechloreerde organische verbindingen in het afvalwater zevenig procent lager was dan bij het traditionele bleekproces, en geen giftige dioxinen konden worden aangetoond. Ook in dit geval was echter nog steeds chloor (als chloordioxide) nodig. Helemaal zonder kan men voorlopig nog niet. Chloor is een te goed bleekmiddel, zoals menig huisvrouw of -man kan beamen.



BEZIENSWARDIG

Ruimtewandeling aan zee

De beweging van planeten, zon en sterren heeft de mens al eeuwenlang gefascineerd. Het is dan ook geen wonder dat hij - zodra hij daar technisch toe in staat was - pogingen ondernam om de hemellichamen met ruimtevaartuigen te onderzoeken. Deze verkenningstochten leverden een schat aan informatie op, die nu op aanschouwelijke wijze is bijeengebracht in het Noordwijk Space Expo.

Deze permanente tentoonstelling is ondergebracht in een speciaal daartoe opgetrokken gebouw, niet toevalligerwijze net naast het terrein van ESTEC, het European Space Research and Technology Centre, net ten zuiden van Noordwijk aan Zee. De expositie heeft een tweeledige opzet: het is een centrum waar de bezoeker kan kennismaken met het fenomeen ruimtevaart en het is een bezoekerscentrum van ESTEC zelf.

De expositie is opgezet als ware het een 'wandeling door de ruimtevaart'. Zij begint met de eerste zonnewijzers, de ontdekkingen van Copernicus, Galilei en Kepler, gevuld door de eerste raketten die de vorige eeuw als uit de kluiten gewassen vuurpijlen de nodige kennis opleverden voor de eerste ruimtevluchten met echte raketten.

Daarna gaat de tijd snel: de eerste mens in de ruimte, de eerste mens op de maan, de adembenemende foto's van Jupiter en Saturnus die de vluchten van de Voyagers ons opleverden, de Russen met hun langdurige verblijven in de ruimte, het succes van de Europese ruimtevaart en de ups en downs van het ruimteveer.

Overzicht van het centrale gedeelte van de Noordwijk Space Expo waarin vele modellen, sommige 1:1, staan opgesteld van diverse raketten en satellieten (foto ESA).

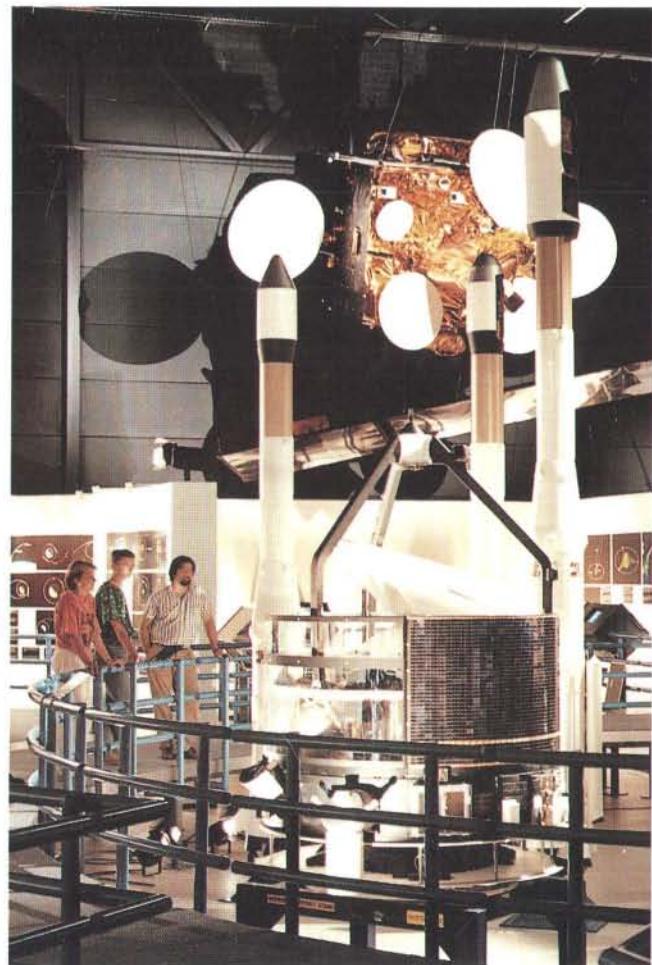
Tenslotte behandelt de tentoonstelling toekomstige ruimtevluchten en de bouw van geweldige ruimtestations. Vanuit deze stations zouden bemande raketten moeten vertrekken naar naburige planeten. Ook kan er verder onderzoek worden verricht onder gewichtloze omstandigheden. Zo zou men in de ruimte legeringen en geneesmiddelen kunnen maken die men op Aarde door de heersende zwaartekracht niet kan fabriceren.

In de tentoonstellingshal worden al deze zaken - maar nog veel meer - uitgebreid belicht via foto's, dia's, videofilms en modellen

van ruimtevaartuigen en onderzoeksatellieten. De grote hoeveelheid getoond materiaal zal vooral diegenen aanspreken die in een kort tijdsbestek enorm veel van de ruimtevaart te weten willen komen.

Openingstijden: alle dagen behalve maandags van 10.00 tot 18.00 uur, toegang f 10,-, informatie 01719-46460 en reserveringen 01719-46446. Adres: Keplerlaan 3, Noordwijk. ESTEC is met bordjes aangegeven.

(Jacques Verduijn)



Razendsnel selecteren

Hoe selecteer je uit zo'n tien miljoen mogelijke gebeurtenissen die drie tot vijf gevallen die interessant zijn? En dat binnen de tijd van een seconde. Deze situatie gaat zich aan het eind van dit jaar voordoen tijdens botsingen tussen protonen en elektronen in de ondergrondse bortingsring HERA in Hamburg. Drs. Sijbrand de Jong van het Nationaal Instituut voor kernfysica en hoge-energiefysica (NIKHEF) heeft na vier jaar promotie-onderzoek een belangrijke bijdrage geleverd aan de oplossing van dit probleem.

Sijbrand de Jong heeft zijn onderzoek verricht bij de sectie hoge energie-fysica van het NIKHEF in Amsterdam. De fysici aldaar voeren hun experimenten uit bij de grote versnellercentra in Europa. Een van die centra is het Duitse Elektronen Synchrotron (DESY) in Hamburg. Bij dit instituut bouwt men momenteel de ruim zes kilometer lange ondergrondse botsingsring HERA, die eind 1990 in gebruik wordt genomen. Met deze botsingsring gaat men onder andere gegevens verzamelen over de inwendige structuur van het proton.

HERA bestaat uit twee ringvormige versnellers. In de ene ring worden protonen versneld en in de andere ring, in tegengestelde richting, elektronen. Op twee plaatsen kruisen de ringen elkaar en daar vinden de botsingen tussen de protonen en elektronen plaats. Rondom de botsingsplaatsen staan verschillende detectoren, waarin en waaromheen snelle elektronica en een netwerk van computers de signalen verwerken.

Het Amsterdamse instituut heeft meegewerkt aan de bouw van een van die detectoren. Deze bestaat uit een groot aantal lagen verarmde uranium gescheiden door plastic platen. Door de grote dicht-



heid is uranium een zeer geschikt materiaal om hoog-energetische deeltjes te remmen en te absorberen. Tijdens dat proces komt er een lawine van secundaire deeltjes vrij. Als deze deeltjes de plastic platen passeren, ontstaan er kleinelichtflitsjes. Door de lichtflitsjes te tellen kan men de energie van de deeltjes meten. Behalve tussen protonen en elektronen vinden ook veel ongewenste botsingen plaats. De meeste signalen uit de detector zijn afkomstig van deze botsingen.

Bij HERA kan meer dan tien miljoen maal per seconde een botsing plaatsvinden, zodat zelfs de krachtigste computers tijd tekort komen om uitgebreide berekeningen uit te voeren.

Sijbrand de Jong heeft tijdens zijn onderzoek een methode ontwikkeld om in zeer korte tijd uit de lawine van gegevens juist de zeldzame gebeurtenissen te selecteren. In de eerste stap worden gebeurtenissen die voldoen aan enkele eenvoudige grootheden, zoals de totale gemeten energie in de detector, gescheiden van de rest. Zo kan circa duizend mogelijke interessante gevallen selecteren.

Bij de tweede selectiestap worden computers ingeschakeld. Deze bestaan uit geavanceerde elektronische schakelingen die gebruik maken van krachtige micropro-

Een kijkje met een 'fish eye'-lens in één van de ringvormige versnellers (Foto: DESY, Hamburg).

cessoren: transputers. Deze transputers zijn in staat om afzonderlijk een stroom gegevens te bewerken en tegelijkertijd deze gegevens aan elkaar uit te wisselen. Bij de botsing gaat het kapot geschoten proton over in enkele kleine bundels van groepen van deeltjes. De transputers zijn in staat om deze botsingspatronen in een duizendste seconde te herkennen en door deze selectie blijven er nog minder dan honderd gebeurtenissen over. Voor de volgende selectie gebruiken de computers de informatie van alle detectoren om de gebeurtenis als geheel te reconstrueren. Met dit totaalbeeld kan nu ook het laatste kaf van het koren worden gescheiden en blijven er vier of vijf bijzondere gebeurtenissen over die later kunnen worden bestudeerd. Omdat de versneller en de detector nog in aanbouw zijn, heeft de Jong zijn selectiemethode uitgetest via computersimulaties. Deze tests zijn succesvol verlopen en de verwachting is dat zijn werk een belangrijke bijdrage zal leveren aan het botsingsonderzoek bij HERA.

Persbericht
HIKHEF, Amsterdam

Microscopie met muis en motor



Philips heeft kort geleden een nieuwe generatie scanning-elektronenmicroscopen geïntroduceerd. Nadat elektronenmicroscopie gedurende tientallen jaren een bezigheid voor specialisten is geweest, lijkt deze techniek nu binnen het bereik van een grotere groep gebruikers te komen. De nieuwe XL-elektronenmicroscoop bestaat uit een bureau waarop een kolom staat die is verbonden met een PC. Door de toegepaste automatisering wint de onderzoeker met het gebruik van dit systeem een hoop tijd. Uit onderzoek blijkt dat microscopisten voorheen vaak tachtig procent van de gebruikstijd bezig waren met het zoeken naar de mooiste weergave van een object. De vele knopjes, schakelaars en wijzers van de vorige generatie elektro-

nemicroscopen maakten het er dan ook niet gemakkelijker op. Nu kan de onderzoeker het instrument met muis en monitor bedienen. Deze 'desktopmicroscoop' werkt daarbij met een 'zware' standaard-PC. Een intelligent systeem zorgt ervoor dat bij wijziging van één parameter, bijvoorbeeld de versnellingsspanning, andere parameters automatisch worden bijgesteld. Zo krijgt de microscopist met weinig moeite een mooie opname. Via één en dezelfde PC kan hij het beeld vervolgens elektronisch vastleggen, röntgenanalyses laten uitvoeren, zijn bevindingen intypen op de tekstverwerker, meetgegevens verwerken en een kant-en-klaar rapport produceren.

(*Persbericht Philips*)

Antistollingslaag

Door een dun laagje van heparine en albumine op een medisch hulpmiddel, bijvoorbeeld een bloedcatheter, aan te brengen kan men voorkomen dat het bloed stolt op het oppervlak van een hulpmiddel. Door toepassing van deze nieuwe techniek zullen patiënten straks minder of zelfs helemaal geen stollingsremmers meer toegediend krijgen.

De coating is ontworpen door de onderzoeksgroep Biomedische Materiaaltechniek van de Universiteit Twente. Onlangs promoveerde van die groep, ir. Gerard Engbers, op de ontwikkeling van een zeer simpele methode om de bescherm Laag te hechten aan medische hulpmiddelen die van kunststof polyurethaan zijn gemaakt. Engbers heeft ook een heparine-coating ontwikkeld voor cellulosemembranen van nierdialyse-apparatuur.

Bloed stolt als het in contact komt met materialen die vreemd zijn voor het lichaam. De gevormde stolsels kunnen losraken en een infarct veroorzaken. Als ze zich aan een medisch hulpmiddel hechten, kunnen ze de werking ervan ernstig belemmeren of zelfs teniet doen. Artsen voorkomen bloedstolling bij patiënten door heparine aan het bloed toe te voegen. Langdurig en veelvuldig gebruik van heparine kan bij de patiënten echter spontane en hevige bloedingen veroorzaken.

Al ruim tien jaar zijn onderzoekers onder leiding van prof. dr. J. Feijen bezig om kunststoffen, waarvan inwendige protheses zijn gemaakt, bloedvriendelijker te maken met behulp van heparine en albumine. Heparine is een verbinding die de stollingsveroorzaker trombine inactief maakt; albumine is een bekend bloed eiwit dat de hechting van bloedplaatjes aan vreemde materialen voorkomt.

ACTUEEL

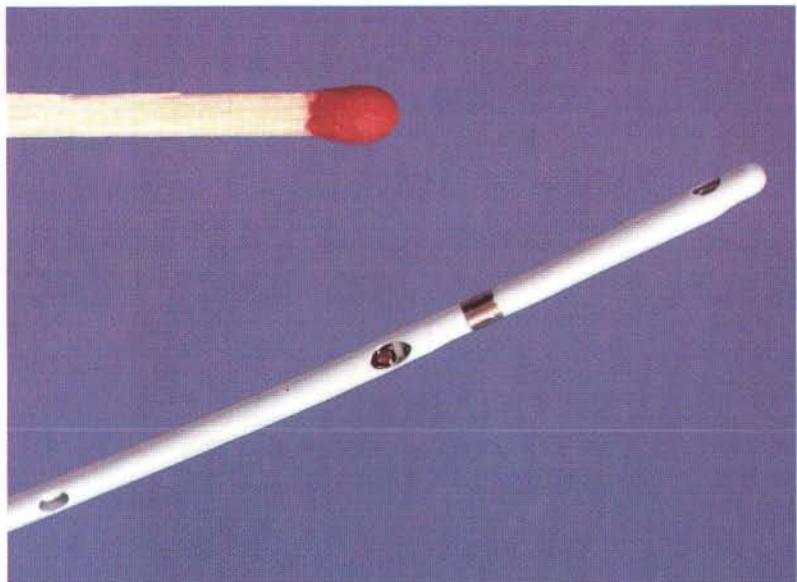
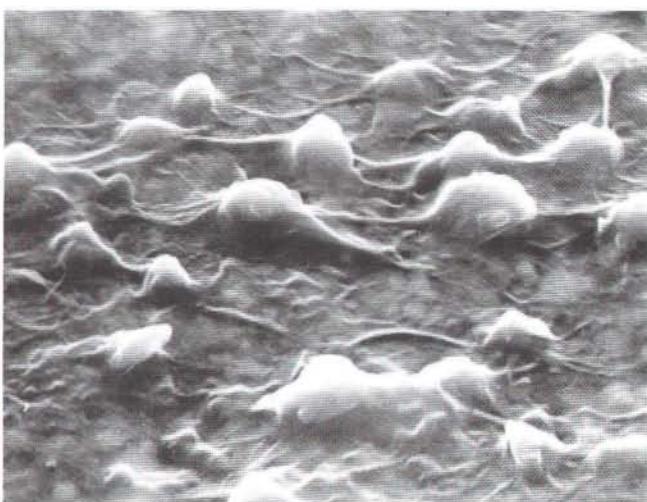
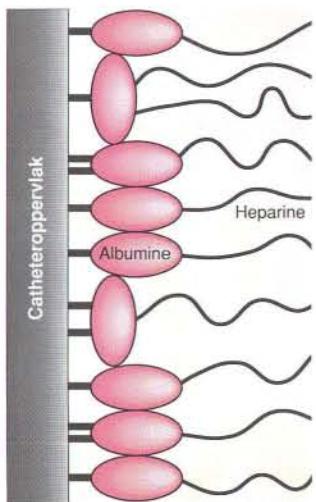
De onderzoeks groep ontwikkelde een slimme en inmiddels gepatenteerde methode om heparine en albumine aan elkaar te koppelen. Als coating op bloedcateters functioneerde het verkregen materiaal uitstekend, maar het hechtte nog niet goed. Engbers vond een methode om de bescherm laag stevig te verankeren aan polyurethaan, een veel

gebruikte kunststof voor biomedische toepassingen. Over anderhalf à twee jaar komen gecoate medische hulpmiddelen op de markt. Op dit moment bestudeert men nog de juiste verpakkings- en sterilisatiemethoden.

Een beperking is nog dat enzymen in het bloed het albumine na verloop van tijd mogelijk kunnen afbreken. Daarom is de coating

alleen geschikt voor hulpmiddelen die een halve week tot een week in het lichaam zitten of tussentijds kunnen worden vervangen. Daarmee kan echter al een grote groep patiënten gebaat zijn.

(Persbericht Universiteit Twente)



Via het eiwit albumine wordt een coating van heparine op het catheteroppervlak aangebracht (linksboven).

Een coating moet voorkomen dat bloedplaatjes zich hechten aan een catheteroppervlak. In deze EM-foto is het oppervlak van een onbehandelde catheter bedekt met bloedplaatjes (rechtsboven).

Met catheters onderzoekt men het inwendige van de mens. Deze pH-cathetertip is kleiner dan een lucifer (Foto Sentron BV, Roden).

Merrie of hengst

Nieuwsgierig kijkt een drachtige Falabella-merrie naar het scherm. Zou het een hengst of een merrie worden?

De twee Falabella-merries in het Noorder Dierenpark blijken tot ieders vreugde drachtig te zijn. Bij gewone paarden kan een dierenarts een inwendig onderzoek uitvoeren om na te gaan of een merrie zwanger is. Deze paardjes zijn echter zo klein, dat de dierenarts zijn toevlucht moet zoeken tot de echoscoop.

Falabella's stammen uit Argentinië en zijn de kleinste paardjes ter wereld. Ze worden al zo'n honderdertig jaar gefokt op de ranch van de familie Falabella. Buiten Argentinië zijn de paardjes zeer zeldzaam.

Twee jaar geleden wist het Noorder Dierenpark de hand te leggen op twee vrouwelijke veulens en in het voorjaar van 1990 bemachtigde het een Falabella-hengst. Getuige de echoscopie blijkt de eer-

De dierenarts tast met de transducer van de echoscoop de buik van een Falabella af, op zoek naar een beeld van het veulen (Foto: Noorder Dierenpark, Emmen).

ste kennismaking van de hengst met de merries zeer vruchtbaar te zijn verlopen. Aangezien Falabella's niet bekend staan als vruchtbare dieren en veel merries hun hele leven kinderloos blijven, is het Noorder Dierenpark zeer verheugd over de komende gezins-

uitbreiding. Rond april 1991 verwacht men de geboorte van de Falabella-veulens.

(Persbericht Noorder Dierenpark Zoo, Emmen)



Manipulatie van maniok

Maniok (ook wel cassave genoemd) is het belangrijkste Afrikaanse landbougewas en de op twee na belangrijkste calorieënbron (eigenlijk: joulebron) ter wereld. Deze plant is van groot belang voor de kleine boerenbedrijven in Afrika, dank zij de lage mestbehoefte en grote droogtebestendigheid. Helaas vormen plagen en ziekteverwekkers een grote bedreiging voor dit gewas. In Bath voert men nu een onderzoeksprogramma uit, dat zich



Professor Henshaw van de plantenbiologiegroep van de Universiteit van Bath, instrueert een Indonesische studente in het isoleren van bladweefsel van de maniok.

richt op het vergroten van de weerstand van populaire maniokvariaties tegen het Afrikaanse Cassave-Mozaiekvirus, ACMV). De onderzoekers willen uiteindelijk voor elkaar krijgen, dat ze met behulp van genetische-manipulatietechnieken het manteleiwitgen

van het virus overbrengen in de Afrikaanse maniokvariëteiten. Onderzoek aan andere planten wijst er namelijk op, dat de expressie van dit gen in de gehele plant bescherming zou moeten bieden tegen infectie door het ACMV.

Het onderzoek in Bath richt zich op technieken, gebaseerd op de somatische embryogenese, waarmee men planten opkweekt uit genetisch veranderde cellen.

(*Persbericht Britse Ambassade, 's-Gravenhage*)

Oorverdovend en echo-vrij

Onlangs nam ESTEC, het European Space Research and Technology Centre bij Noordwijk aan Zee, twee nieuwe grote testruimtes in gebruik. Het betreft hier de LEAF en CPTR.

LEAF staat voor Large European Acoustic Facility. In deze enorme kamer worden allerlei raket- en satelliet-onderdelen onderworpen aan akoestische testen. Met frequenties tussen 25 en 8000 Hz worden tonen met een kracht tussen de 125 en 155 dB opgewekt

(de pijngrens ligt bij de mens op 120 dB). De luidruchtige testen zijn nodig om na te gaan of de onderdelen de gigantische geluidsdruk kunnen doorstaan die ontstaat tijdens de lancering van een raket.

CPTR is de afkorting van Compact Payload Test Range. In deze echo-vrije ruimte test men de communicatie-verbindingen die men zal gebruiken tussen een satelliet en de Aarde. Vooral grote communicatie- en aardobserva-

tie-satellieten en stralingskarakteristieken van zeer grote antennes zal men in deze ruimte gaan bestuderen.

(Jacques Verdijnen)

De 'geluidsmuur' van de Large European Acoustic Facility. Geheel links de akoestische hoorn van 25 Hz, net rechts van de onderzoeker die van 160 Hz, rechtsonder die van 35 en daarboven die van 80 Hz (foto ESA).

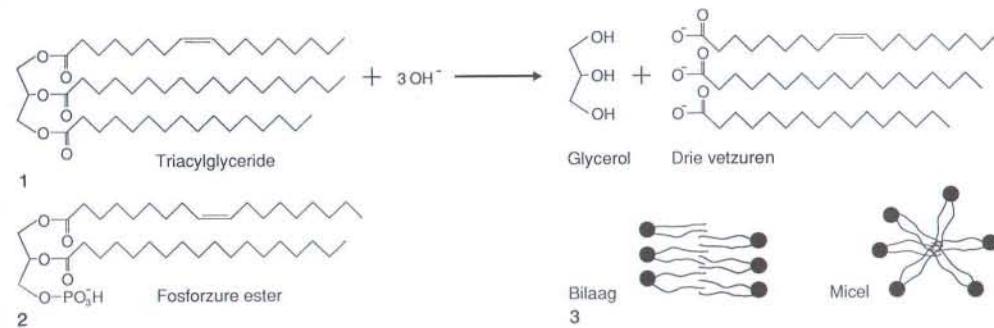


PRIJSVRAAG

Oplossing augustus

De puzzelredactie ontving vele oplossingen van de chemische prijsvraag uit het augustusnummer. Deze vraag had betrekking op lipiden en vetzuren. Het triacylglyceride waar de professor aan dacht is weergegeven in afbeelding 1. De gevraagde verge-

lijking van de hydrolyse is eveneens getekend in afbeelding 1. Bij de fosforzure ester afgeleid van bovenstaand triacylglyceride, is een vetzuur vervangen door een fosfaatgroep (afb. 2). Zes fosfolidemolekülen kunnen tenslotte op twee manieren associëren in een plat vlak: in een bilaag en in een micel (afb. 3).



De nieuwe opgave

Van een bedrijf dat gebruikte computers sloopt, heeft de professor een grote hoeveelheid chips gekregen. In een groot vat bevinden zich honderdduizend van deze kleine wonderen der techniek. Alle chips zijn voorzien van een serienummer en geen enkel serienummer komt tweemaal voor in deze verzameling. Er is geen duidelijke limiet aan de grootte van de getallen.

De professor is nieuwsgierig naar het grootste serienummer dat in het vat voorkomt. Hij vindt het echter te veel werk om de getallen op alle chips te bekijken. Hij wil nu een beperkt aantal chips bekijken, waarbij hij het grootste getal steeds onthoudt. Vervolgens beoordeelt de professor de resterende chips uit het vat één voor één. De chip met een nummer dat groter is dan het getal dat hij heeft onthouden, moet dan een grote kans hebben om de chip met grootste getal te zijn. Graag verneemt de professor van de puzzelaars hoeveel chips hij moet raadplegen voordat hij met een rede-



lijk grote waarschijnlijkheid de chip met het grootste serienummer kan gaan aanwijzen.

Deze opgave werd beschikbaar gesteld door de Stichting Wiskunde Olympiade Nederland. Inzenders van deze prijsvraag maken kans op de lootprijs, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek. Bovendien krijgen de goede inzenders punten voor de ladder-

Onder de goede inzenders is Ludwig Vanfleteren uit Harelbeke de winnaar van de lootprijs, een boek na keuze uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek. A. de Wit uit Reet bereikte deze maand de top van onze laddercompetitie en wint daarmee een gratis jaarrabonnement op Natuur & Techniek.

Natuur & Techniek
Puzzelredactie
Postbus 415
6200 AK MAASTRICHT

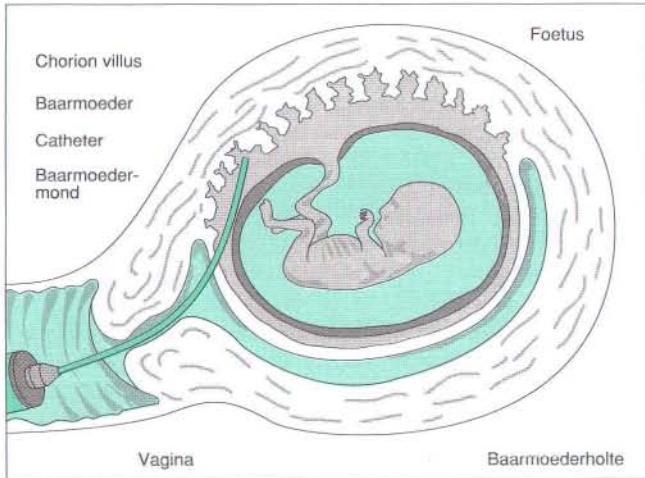
Vandaag de dag kunnen wetenschappers gemakkelijk met genen manipuleren. Als resultaat daarvan kunnen zij erfelijke ziekten steeds vaker al vóór de geboorte opsporen. De toekomst brengt de mogelijkheid van 'gentherapie'.

Omar Sattaur

DE NIEUWE GENETICA

Stelt u zich eens voor dat u een naald zou moeten zoeken in een hooiberg ter grootte van de Mount Everest. Onmogelijk? Ongetwijfeld. Toch hebben wetenschappers gedurende de laatste tien jaar zo'n grote vooruitgang geboekt op het gebied van de moleculaire biologie, dat ze nu in staat zijn het molekulare equivalent van die 'onmogelijke' taak uit te voeren.

Elke lichaamscel bevat alle erfelijke informatie die nodig is om een complete mens te maken. Die informatie is opgeslagen in **genen**, die in de **chromosomen** liggen. Genen zijn gemaakt van **desoxyribonucleïnezuur (DNA)**, een spiraalvormig molecuul dat lijkt op een ladder waarvan de 'spalten' bestaan uit **basenparen**. Als we al het DNA van één persoon, uit alle chromosomen die we in zijn lichaamscellen tegenkomen, zouden ontflezen en achter elkaar zouden leggen, dan zou die ene draad de afstand naar de maan en terug ongeveer 8000 keer overbruggen. Inmiddels kunnen moleculair-biologen een afzonderlijk gen van pakweg één à tweeduizend basen isoleren uit een hoeveelheid DNA die groot



Door een monster te nemen uit de chorionvlokken, kan een arts al in de

achtste week van de zwangerschap foetaal DNA in handen krijgen.

genoeg is om meer dan zes miljoen genen met vergelijkbare grootte te bevatten.

De mogelijkheid om een afzonderlijk gen te lokaliseren en te analyseren, belooft een ontweling in het onderzoek naar **erfelijke**, ofwel **genetische** ziekten. Ze stelt artsen nu reeds in staat om sommige erfelijke ziekten al vroeg in de zwangerschap vast te stellen. Hemofylie en sikkelmanemie bijvoorbeeld, twee erfelijke

bloedziekten, kunnen bij foetus tussen van pas acht weken oud worden opgespoord.

De ontwikkeling van ziekten zoals kanker en hartafwijkingen is nog altijd een mysterie. Met de nieuwe technieken kunnen we steeds dieper doordringen tot de kern van dat mysterie. Dit kan uiteindelijk leiden tot **gentherapie**, waarbij mensen die met afwijkende genen worden geboren, normale genen krijgen.

Erfelijke ziekten

Genen van onze ouders

Bijna alle cellen in ons lichaam bevatten 46 chromosomen in hun kern. De enige uitzonderingen vormen de **gamenet**, de spermacellen en de eicellen, die slechts de helft van dat aantal bevatten. Iedereen heeft 23 chromosomen van moeder geërfd (via een eicel) en 23 van vader (via een spermacel). Dus alle genen komen tweemaal voor, van elke ouder één. Deze twee vormen kunnen verschillen en heten dan **allelen**. Zo kan iemand voor een bepaald gen zowel een normaal als een abnormaal allele bezitten.

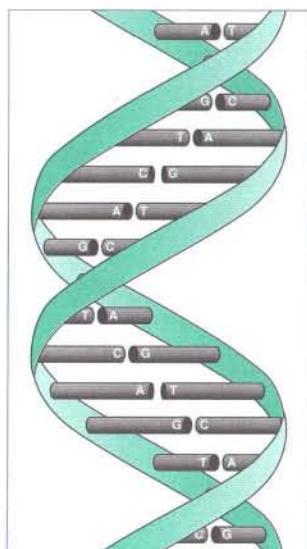
Genetische ziekten erven op twee manieren over. In sommige gevallen veroorzaakt een enkel abnormaal allele van één ouder de ziekte; we noemen dat allele dan **dominant**. Gewoonlijk moet een kind echter van beide ouders een onvolmaakt allele overerven, voordat de ziekte zich openbaart. In dat geval noemen we de allelen **recessief**.

Gezonde mensen die slechts over één abnormaal recessiefallel beschikken, noemen we dragers. Zij lijden zelf niet aan de ziekte, maar kunnen die wel op hun kinderen overdragen. Wij zijn allemaal drager van enkele gevaarlijke recessieve allelen.

Sommige ziekten, zoals hemofylie, worden veroorzaakt door recessieve allelen op het X-chromosoom, één van de geslachtschromosomen. Cellen van vrouwen hebben twee X-chromosomen, terwijl die van mannen een X- en een Y-chromosoom hebben.

Een vrouw die het hemofilie-allel op beide X-chromosomen heeft, lijdt aan de ziekte. Als ze het allele op één van haar X-chromosomen heeft, zal zijzelf geen ziekteverschijnselen vertonen, maar ze is wel draagster. Een man die het allele op zijn X-chromosomen mee-kreeg, zal aan de ziekte lijden. Afwijkingen die overerven via een recessief allele op het X-chromosoom, noemen we geslachtsgesloten.

Tot voor kort konden artsen gewoonlijk niet vaststellen of een foetus aan een ernstige erfelijke ziekte leed. Zij konden hooguit aan sommige ouders een idee geven van het risico op het krijgen van een kind met een erfelijke aandoening. Gedetailleerde erfelijkheidsvoorlichting



In zijn inactieve vorm bestaat DNA uit een dubbele spiraal die door een specifieke paring tussen complementaire basen bijeengehouden wordt. Tijdens de eiwitsynthese scheiden de twee strengen zich, om de basenvolgorde waaruit het bodschapper-RNA wordt gemaakt, te onthullen.

ting is doorgaans alleen mogelijk als de ouders weten dat zij dragers zijn. In de meeste gevallen weten ze dat pas als ze al een kind hebben met een erfelijke afwijking. Er bestaan nog vrijwel geen eenvoudige tests om dragers op te sporen.

Voor sommige ziekten kunnen artsen inmiddels de specifieke foetale allelen die vermoedelijk afwijkend zijn, isoleren en analyseren uit slechts twee milliliter foetaal bloed of uit twee miljoenste gram foetaal DNA. De vooruitgang in de moleculaire biologie gaat hand in hand met nieuwe methoden om foetale cellen te verzamelen.

Medische wetenschappers hebben ongeveer twintig jaar geleden de eerste methoden ontwikkeld om foetale cellen te isoleren. De techniek, die wordt aangeduid met de term **vruchtwaterpunctie**, wordt uitgevoerd in de veertiende of vijftiende week van de zwangerschap. Vruchtwaterpunctie wordt toegepast in de **prenatale diagnostiek**, waarbij de arts vaststelt of een foetus aan een aandoening lijdt. De ingreep wordt alleen toegepast bij vrouwen die een verhoogde kans hebben op een kind met een genetisch defect. Ze brengt namelijk risico's met zich mee voor de zwangerschap. De aanstaande moeder kan de zwangerschap af laten breken als blijkt dat haar kind met een ernstige afwijking ter wereld zal komen.

Komen.

Om de vliezen af te beelden die de foetus in de baarmoeder omgeven, maakt de arts bij een vruchtwaterpunctie gebruik van ultrasone geluiden. Hij weet zo de juiste plaats te vinden om met behulp van een holle naald een kleine hoeveelheid vruchtwater op te zuigen.



Het **vruchtwater** is de beschermende omhulling van de foetus in de baarmoeder. De vloeistof bevat een hoeveelheid foetale cellen, waaraan wetenschappers de aanwezigheid van chromosomale afwijkingen kunnen onderzoeken. Vruchtwater bevat veel chemische stoffen die betrokken zijn bij de stofwisseling van de foetus. Door de hoeveelheid en de veranderingen van deze chemische stoffen in het vruchtwater te bepalen, kunnen wetenschappers enkele zeldzame erfelijke stofwisselingsziekten herkennen. Zij kunnen nu ook het DNA uit de foetale cellen halen en dit onderzoeken op de aanwezigheid van bepaalde defecte allelen.

De nieuwste methode om foetale cellen te verkrijgen wordt **chorion villus sampling** of kortweg **CVS** genoemd. Ze biedt artsen de mogelijkheid om van bepaalde ziekten al na acht tot tien weken zwanger-

schap een prenatale diagnose te stellen. Een vruchtwaterpunctie levert slechts weinig foetale cellen, die eerst in een celkweek moeten groeien om voldoende foetaal DNA op te leveren voor een analyse; dit kan de uitslag enkele weken op houden. CVS levert echter voldoende foetaal DNA op voor een directe analyse, waardoor de ouders binnen twee dagen weten of er iets mis is met hun kind.

Nadat het embryo zich in de baarmoeder heeft ingeplant, begint het **chorion** rondom de foetus te groeien. Het vormt later de **placenta**, die de groeiende foetus van voedsel voorziet. Het chorion bestaat uit cellen die zijn afgeleid van de buitenste laag van het embryo. Bij CVS maken artsen gebruik van een ultrasone-golvenscanner om de chorioncellen in de placenta te lokaliseren. Met een dunne buis kunnen ze via de vagina een monster van het

Na knippen en sorteren op grootte zijn DNA-fragmenten op een film zichtbaar gemaakt. (Foto: Loek Zuyderduin, Voorschoten.)

foetale weefsel nemen. Zo'n monster kan meer dan honderd microgram foetaal DNA opleveren.

Nu we hoe langer hoe meer te weten komen over de ontwikkeling van zoogdieren, lijkt het erop dat onderzoekers over enige tijd in staat zullen zijn diagnostische tests in de pre-embryonale periode uit te voeren. Deze periode beslaat de eerste twee weken nadat een eicel bevrucht is en vóórdat inplanting in de baarmoederwand heeft plaatsgevonden.

Bij **in-vitro-fertilisatie** (IVF) kunnen de pre-embryo's worden getest op de aanwezigheid van afwijkingen voordat ze in de baarmoeder geplaatst worden. De pre-implantatiadiagnose heeft als voordeel dat de

vrouw al vóór de zwangerschap weet dat haar kind de onderzochte ziekte niet heeft. Zij hoeft daar dus niet pas na een aantal maanden achter te komen. Het voordeel is in het bijzonder van belang voor vrouwen die een abortus om ethische of religieuze redenen afwijzen.

Complementaire basen

Genen in beeld gebracht

Hoe kunnen onderzoekers de vaak kleine veranderingen in het foetaal DNA die aanleiding geven tot een erfelijke ziekte, opsporen? Hier komen de nieuwe molekulair biologische technieken om de hoek kijken. De twee strengen waaruit DNA is samengesteld, zijn door specifieke paring van de zogenoemde complementaire basen verbonden - **adenine** bindt zich alleen aan **thymine** en **guanine** alleen aan **cytosine**. Als een streng zijn tegenhanger ontmoet, binden zij zich samen.

Onderzoekers maakten van dit feit gebruik om voor een aantal mutaties, veranderingen in de basenpaarvolgorde, die een erfelijke ziekte veroorzaken een zogenaamde **gen-probe** te maken. Zij isolateerden het intermediaire molecuul tussen DNA en eiwit, het **boedschapper-RNA (mRNA)**, en maakten daar een stukje **complementair DNA (cDNA)** van.

Als de cDNA-probe met foetaal DNA in contact wordt gebracht herkent die daarin het complementaire stuk en bindt zich daaraan. Bij het vervaardigen van een probe verwerken onderzoekers daarin radioactie-

ve basen die het cDNA 'labelen', waardoor ze de probe terug kunnen vinden als die zich aan de complementaire volgorde van het DNA uit de cel heeft gebonden.

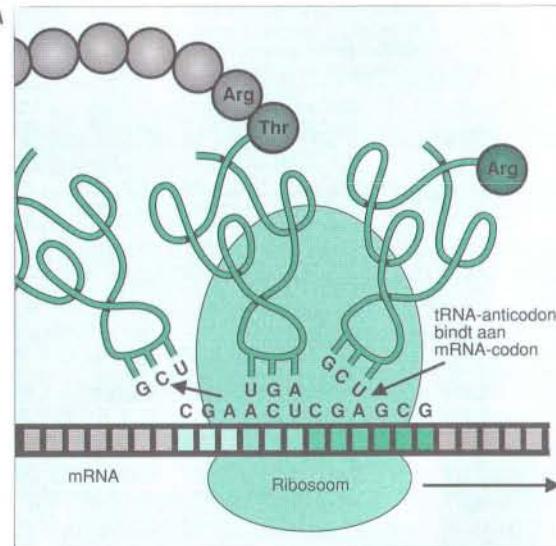
Om een bepaald gen in iemands DNA te vinden, splitsen onderzoekers de lange strengen DNA eerst in veel kleinere fragmenten. Dat doen ze met behulp van bacteriële enzymen die het DNA 'doorknippen' op plaatsen met een bepaalde basenpaarvolgorde. Die enzymen heten **restrictie-endonucleasen**, of restrictie-enzymen.

Wanneer men de DNA-fragmenten op een speciale gel aanbrengt en daarover een

het te verhitten en worden vervolgens in aanraking gebracht met een radioactief gelabelde probe. Door het filter op een röntgenfilm te leggen wordt de probe, en dus ook het complementaire fragment dat de afwijking bevat, als een donker bandje zichtbaar. De afbeelding van de banden noemt men een **genenkaart**.

De meeste hemoglobine-afwijkingen en vele andere erfelijke ziekten die veroorzaakt worden door een defect in één enkel gen, kunnen nog niet op deze manier worden vastgesteld. We weten namelijk nog niet welk gen aanleiding geeft tot de ziekte en kunnen dus geen genprobes van de mutatie ma-

Boedschapper-RNA is de mal waarop eiwitten worden gebouwd. Elk codon stelt een bepaald aminozuur voor. De anticodons van het tRNA passen op de codons van het mRNA.



elektrisch veld aanlegt, worden ze gescheiden naar afmeting en vormen zo een onzichtbaar patroon van vlekken op de gel. De vlekken kunnen worden afgeloid met een nitrocellulosefilter.

De DNA-fragmenten worden aan het filter gebonden door

een. Dankzij **genetische koppelung** kunnen onderzoekers dergelijke aandoeningen soms toch opsporen.

Onderzoekers weten reeds ja- ren dat bepaalde genen vlak bij elkaar op een chromosoom liggen en dus gezamenlijk over- erven. Zij noemen dat gekop-

HOE CELLEN EIWITTEN MAKEN

Het DNA in de chromosomen is sterk gewonden en gevouwen. Uitgetrokken lijkt het op een lange spiraalvormige ladder. Elke 'boom' van de ladder is opgebouwd uit een keten van suiker- en fosfaateenheden. Het suikermolekula in DNA is **desoxyribose**. De 'sporten' bestaan uit paren van de vier basen: **adenine (A)**, **thymine (T)**, **guanine (G)** en **cytosine (C)**.

Vanwege de chemische eigenschappen van de basen, koppelt A alleen met T en C alleen met G. Dit betekent dat twee complementaire strengen maar op één manier bij elkaar passen.

Eiwitten zijn opgebouwd uit verschillende **aminozuren** die chemisch aan elkaar zijn gebonden en zo ketens - **peptiden** genaamd - vormen. Een eiwit kan uit meerdere ketens bestaan. De chemische eigenschappen van de aminoazuren dwingen de ketens op bepaalde plaatsen samen te vouwen, waardoor een ruimtelijke structuur ontstaat. De vorm daarvan is van doorslaggevend

belang voor de werking van het eiwit. De informatie die de volgorde van de aminoazuren in de eiwikketens bepaalt, ligt besloten in de basenpaarvolgorde van het DNA - de **genetische code**. Een gen is het stukje DNA dat codeert voor een eiwikketen.

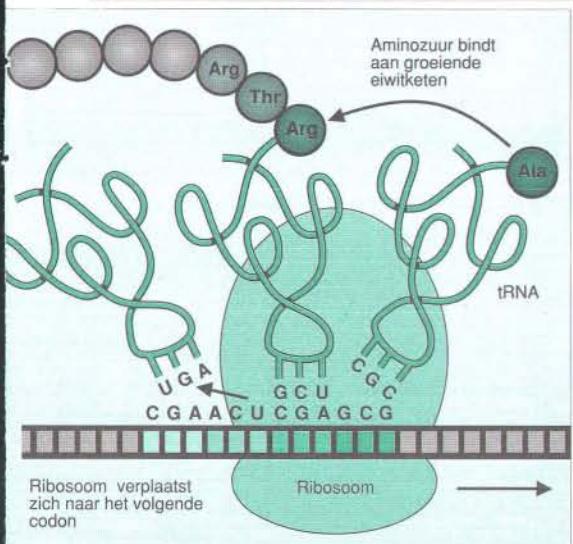
De genetische code wordt in basen-tripletten (groepjes van drie) van het DNA-molekula afgelezen. Met andere woorden, elk aminozuur wordt voorgesteld door een codewoord van drie basen; het triplet CAC bijvoorbeeld, codeert voor het aminozuur valine. Een triplet dat een aminozuur weergeeft, noemt men een **codon**.

Als een cel een bepaald eiwit moet maken, zal 'iets' de relevante genen eerst moeten lezen en elk codon moeten vertalen. Vervolgens moet bij elk codon het geschikte aminozuur worden gevonden, waarna de aminoazuren in de juiste volgorde worden samengevoegd tot eiwikketens.

Het eerste deel van dit proces vindt plaats in de celkern, waar het DNA zich bevindt. Een enzym - **ribonucleïnezuur-polymerase** - maakt een kopie van één van de strengen van het DNA. Dit proces noemt men **transcriptie**. De kopie is geen DNA-, maar een RNA-molekula. RNA is vergelijkbaar met DNA, maar bevat de suiker **ribose** in plaats van desoxyribose en de base **uracil (U)** in plaats van thymine. Het nieuwe molekula heet **boedschapper-RNA (mRNA)**.

Het mRNA verplaatst zich van de kern naar het cytoplasma van de cel. Daar fungeert het als een mal waarop de aminoazuren worden samengevoegd. Dit proces noemt men **translatie**, omdat de codons van het mRNA worden vertaald in de aminoazuren waarvoor zij coderen.

Aminoazuren worden door transportmolekulen die men **transfer-RNA's (tRNA's)** noemt, naar de juiste plaats op de mRNA-streng gebracht. Elk tRNA heeft een triplet van basen, een anticodon, dat bindt aan zijn complementaire codon op de mRNA-streng en vervolgens zijn aminozuur aan de groeiende eiwikketen afstaat. De translatie vindt plaats in een ribosoom, een celorganel dat langzaam over de mRNA-streng schuift. Zo worden de aminoazuren één voor één in de volgorde geplaatst die is vastgelegd in de opeenvolging van de mRNA codons.



pelde genen. Soms kennen wetenschappers het eiwit van het allel dat zij willen onderzoeken niet, en kan dat allel niet rechtstreeks door middel van een genprobe worden gelokaliseerd. De mogelijkheid die

dan nog overblijft is proberen een gen te vinden dat wel kan worden gelokaliseerd én is gekoppeld aan het defecte gen. Wetenschappers kunnen zulke buurgenen gebruiken als markering voor de aan- of afwezig-

heid van het gen dat zij willen onderzoeken. Een probleem is dat er nog maar weinig markeren voor erfelijke ziekten zijn gevonden. Bovendien moet de markering zeer dicht bij het gen liggen wil zij be-

KOPPELINGSANALYSE

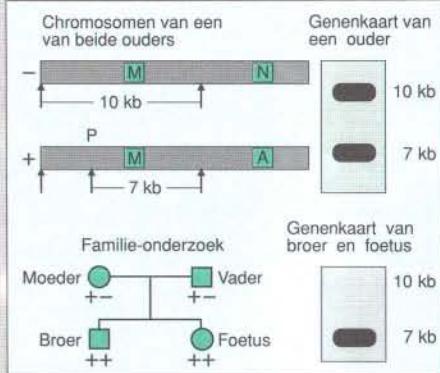
Kijken we naar twee ouders die beide drager zijn voor een schadelijk allele A. Elke ouder heeft een chromosoom dat allele A draagt en één met zijn normale tegenhanger N. Als de mutatie die A produceert niet direct kan worden opgespoord, kan koppelingsanalyse misschien helpen.

In dit voorbeeld draagt één van de ouderlijke chromosomen een restrictieplaats-polymorfisme P, dat zo dicht bij de allelen A en N ligt, dat het er niet van wordt gescheiden bij volgende generaties. Een chromosoom dat het polymorfisme bevat duiden we aan met +, een ander met -.

Uit het --chromosoom knijpt een restrictie-enzym een stuk DNA met een lengte van tien kilobasen (kb) dat plaats M bevat, een basenvolgorde waarvoor een genprobe bestaat (1 kb = 1000 basen). Het +-chromosoom bevat echter een enkele basenpaarverandering, die tot een nieuwe knipplaats P voor het restrictie-enzym leidt. Hierdoor zijn van het +-chromosoom de fragmenten met plaats M slechts 7 kb lang.

Als het DNA van de ouders met behulp van probe M in kaart wordt gebracht, zien we twee banden, die of het +- of het --chromosoom vertegenwoordigen. Maar welk chromosoom draagt nu allele A en welk het normale allele N?

Het antwoord komt van een familie-onderzoek. Een eerder geboren kind heeft allele A van beide



ouders ontvangen en zijn genenkaart laat de +-chromosoomordering zien; dat is slechts een enkele 7 kb-band die wordt herkend door probe M. Bij prenatale diagnostiek tijdens de volgende zwangerschap kunnen artsen op dezelfde manier het foetale DNA met probe M in kaart brengen. In dit voorbeeld laat de genenkaart van de foetus ook de +-ordering zien. Het kind moet het afwijkende allele A dus van beide ouders ontvangen hebben.

trouwbaar zijn. Door **crossing-over** - waarbij gepaarde chromosomen delen uitwisselen - kan de koppeling tussen een markeergen en een ziekteveroorzakend allele verdwijnen. De kans daarop neemt toe met de afstand tussen beide.

Onderzoekers hebben ook ontdekt dat in niet-coderende delen van ons DNA veranderingen in de basenpaarvolgorde kunnen plaatsvinden, waardoor nieuwe knipplaatsen voor restrictie-enzymen ontstaan of bestaande plaatsen verdwijnen. Dit verschafte hen nieuwe markeringen. Deze onschadelijke mutaties erven normaal over. De veranderde basenpaarvolgorden noemt men **polymorf**, dat wil zeggen, zij ko-

men in verschillende vormen voor. De mutaties die de knipplaatsen van de restrictie-enzymen wijzigen, heten **restrictieplaats-polymorfismen**. De lengte van restrictiefragmenten is ook afhankelijk van kleine, niet-coderende stukken 'nonsense-DNA'. Van deze stukjes komen meestal in lange reeksen herhalingen voor. Ze heten **hypervariable regio's (HVR)**. HVR's komen overal in ons DNA voor en ze erven ook op de gebruikelijke manier over. Omdat zowel HVR's als restrictieplaats-polymorfismen de afmetingen van DNA-fragmenten beïnvloeden, noemt men ze wel gezamenlijk **restrictiefragment-lengte-polymorfismen (RFLP's)**.

Bloedziekten

Minderwaardige hemoglobinen

De nieuwe technieken hebben de prenatale diagnostiek van bepaalde erfelijke afwijkingen van hemoglobine aanzienlijk verbeterd. Hemoglobine is het eiwit dat het bloed zijn rode kleur geeft en dat in staat is om zuurstof van de longen naar de weefsels te transporteren. Sommige mensen hebben onvolmaakte hemoglobine-allelen. Deze 'foutie' allelen kunnen een reeks van ziekten veroorzaken, waarbij hemoglobine in de juiste uitoefening van zijn taak tekortschiet. Bij een van

deze ziekten, de zogenaamde sikkcelanemie, vormt het hemoglobine lange staafvormige draden, die de vorm van de rode bloedcellen veranderen zodra die hun zuurstof aan het weefsel afgeven. Dit is er op zijn beurt de oorzaak van dat de cellen voortijdig worden vernietigd, waardoor kleine bloedvaten verstopt raken. De verstoppingen veroorzaken een ernstige ziekte die levensbedreigend kan zijn.

Kennis van de basenpaarvolgorde van het hemoglobinegen en onderzoek aan de wijze van overerving van sikkcelanemie bij families waarin de ziekte voorkomt, stellen onderzoekers in staat om de mutatie te achterhalen die verantwoordelijk is voor de aandoening. Hemoglobine is opgebouwd uit twee paar eiwitketens: twee alfa- en twee beta-ketens. De structuur van deze ketens wordt bepaald door de daarmee corresponderende alfa- en beta-genen.

Sikkcelanemie is toe te schrijven aan de verandering van één enkele base in het zesde codon van het beta-keten. Elk codon is verantwoordelijk voor één bepaald aminozuur in het eiwitproduct. In plaats van CTC, het codon voor glutaminezuur, luidt het zesde triplet CAC, wat codeert voor valine.

Door de mutatie van thymine naar adenine - met als gevolg de vervanging van glutaminezuur door valine - verandert de driedimensionale structuur van het hemoglobine. Nu wetenschappers de mutatie kennen, is het mogelijk om een genprobe te maken die de mutatie kan opsporen in een mengsel dat het volledige DNA van duizenden cellen bevat.

De ontdekking van RFLP's geeft wetenschappers de mogelijkheid onderzoek te verrichten aan erfelijke ziekten waarvan de onderliggende oorzaak nog onbekend is, zoals bijvoorbeeld cystische fibrose. Kinderen met cystische fibrose produceren buitengewoon dik slijm, dat de luchtdoorgangen in de longen kan blokkeren. Hopelijk levert het onderzoek een diagnosemethode op die al vroeg in de zwangerschap bruikbaar is. Stel dat artsen willen uitzoeken of een foetus hetallel voor cystische fibrose van beide ouders heeft ontvangen. Zij weten ruwweg waar op het chromosoom de mutatie ligt, maar zijn niet in staat om die te karakteriseren. Het zou prachtig zijn als de artsen nu een RFLP konden vinden dat zo dicht bij het defecteallel ligt, dat het een gekoppelde markering vormt.

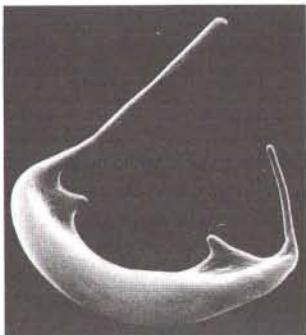
De artsen onderzoeken het DNA van beide ouders en dat van een eerder getroffen kind of een ander familielid, op een koppeling tussen een RFLP en hetallel dat de cystische-fibro-

semutatie draagt. Als zij een koppeling vinden kijken zij naar de aanwezigheid van een gekoppelde RFLP in het DNA van de foetus. Als de foetus het polymorfisme op beide chromosomen draagt, dan moet die het gemuteerdeallel van beide ouders hebben ontvangen en zal dus de ziekte ontwikkelen.

Toekomstgenetica

Zicht op diabetes?

Tot dusver zijn deze nieuwe technieken gebruikt om ziekten te bestuderen die veroorzaakt worden door mutaties van een enkel gen. Zouden deze technieken ook bruikbaar zijn bij het onderzoek aan andere ziekten, zoals bijvoorbeeld hart- en vaatziekten? Artsen weten dat er veel genen zijn die een rol spelen bij de degeneratie van de kraanslagaders die de hartspleierbloed voorzien. Die degeneratie kan zelfs bij jonge mensen tot een hartinfarct leiden. De betrokkenheid van veel genen, die ook nog eens een interactie aangaan met de omgeving, plaatsen ons voor een heel complex probleem, dat zich moeilijk laat oplossen. De verdeling van hartinfarcten over de leden van een familie is dan ook heel anders dan bij hemofylie of sikkcelanemie. Desondanks kunnen de nieuwe technieken ons misschien helpen te begrijpen wat er bij zulke ziekten verkeerd gaat. Mogelijk kunnen we dan ook vaststellen bij welke mensen zich gemakkelijk hartziekten ontwikkelen. Onderzoek aan gekoppelde genen zal de onderzoekers helpen in hun speurtocht naar de belangrijkste allelen die de



Sikkelvormige in plaats van ronde rode bloedcellen, zijn het gevolg van een verandering van één basenpaar. (Foto: M. Bessis, Corpuscles. ©1974. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.)

GENTHERAPIE: HOOP EN VREES

Gentherapie, het vervangen van een ontbrekend of onvolledig allele, kan in de toekomst vele erfelijke ziekten doen genezen. De meest voor de hand liggende gegadigden voor gentherapie zullen eenvoudige genafwijkingen zijn, omdat dat de best onderzochte erfelijke ziekten zijn. Op de eerste plaats behoren daartoe de hemoglobineziekten en vervolgens de stofwisselingsziekten die zijn ontstaan door een enkele basemutatie. Het zal bijvoorbeeld mogelijk zijn om afwijkingen in de beenmergcellen, waaruit de rode bloedcellen worden aangemaakt, te herstellen. Alhoewel er al plannen in voorbereiding zijn om met gentherapie te beginnen bij mensen die anders aan een erfelijke ziekte zouden sterven, vragen nog veel lastige problemen om een oplossing.

Ten eerste zijn er nog tal van hindernissen te overwinnen bij het plaatsen van een gen in de chromosomen van de miljoenen gastheercellen. Ten tweede betekent het plaatsen van een gen in een cel, of zelfs het inbouwen ervan in het DNA van een gastheercel, nog niet dat het gen zijn werk zal doen. Van de stukjes DNA voor en achter een gen is bekend dat ze bepalen of een gen 'gelezen' kan worden en dat ze de transcriptie reguleren. Tenslotte mag het toegevoegde gen andere processen in het gewone leven van de gastheercellen niet belemmeren.

Tegenwoordig verschaffen experimenten bij dieren ons enig inzicht in de oplossing van deze problemen, maar het zal nog jaren duren voordat op alle vragen een antwoord is gevonden. Onderzoekers stellen echter pogingen in het werk om virussen over te halen het eerste probleem voor ze op te lossen.

Bepaalde virussen, de zogenaamde retrovirussen, bouwen hun eigen genen in de chromosomen van menselijke cellen die zij langs natuurlijke weg infacteren. Ofschoon sommige retrovirussen ernstige ziekten veroorzaken, inclusief kanker en AIDS, is het soms mogelijk om ze uit te schakelen met behulp van nieuwe technieken uit de molekulaire biologie. Hun ziekte-veroorza-

kende genen kunnen worden verwijderd en een therapeutisch gen kan worden gekoppeld aan het gen dat het virus in staat stelt om cellen binnen te dringen. Enkele experimenten bij dieren hebben ons laten zien dat de methode uitvoerbaar is.

Het kan een angstaanjagend idee zijn dat we vreemd genetisch materiaal bij een mens inbrengen. Als gentherapie mogelijk zou zijn, zou dat dan betekenen dat we oogkleur, muzikaal talent of geslacht van onze kinderen vooraf zouden kunnen kiezen? Zou dat wenselijk of ethisch verantwoord zijn? Zelfs als gentherapie zou worden gebruikt als een laatste redmiddel om alleen levensbedreigende ziekten te behandelen, zouden artsen dan kunnen garanderen dat het veilig is en niet tot onvoorzienige ziekten zoals kanker leidt?

In juni 1988 publiceerde *The Lancet*, een van 's werelds meest vooraanstaande medische tijdschriften, een gezamenlijke verklaring over gentherapie bij mensen, die door de medisch-wetenschappelijke adviesraden van een aantal Europese landen was opgesteld. De verklaring maakte duidelijk dat gentherapie uitsluitend zou worden gebruikt om erfelijke afwijkingen te herstellen en dat "pogingen om algemeen menselijke kenmerken te verbeteren niet zouden worden overwogen".

Ze vermeldt dat gentherapie uitsluitend mag worden uitgevoerd op lichaamscellen (**somatische cellen**) en nooit op geslachtscellen (sperma- en eicellen). Dit betekent dat gentherapie alleen ten goede komt aan de behandelde patiënt en niet aan zijn of haar kinderen. "Verdere technische verbeteringen in de werking van genen die naar somatische cellen zijn overgebracht, zullen noodzakelijk zijn, alvorens gentherapie zelfs bij dierlijke modellen succesvol kan zijn. In de tussenliggende proefnemingen bij mensen niet te rechtfraardigen", zo meldt de verklaring. Ze adviseert dat elk land een groep deskundigen samenstelt die voorstellen voor gentherapie beoordeelt en toezicht houdt op experimenten.

mens vatbaar maken voor hartziekten. Wetenschappers kunnen hele families analyseren om te zien of bepaalde genetische markeringen verbonden zijn met vroegtijdige hartinfarcten. Deze methode zou ook geschikt kunnen zijn voor het opsporen van andere ziekten, zoals diabetes.

Literatuur

Kuitert HM. Mag alles wat kan? - Ethiek van de voortplantingstechnologie. *Natuur & Techniek* 1988; 56: 10, 798-809.

Wieringa B. Erfelijk aangedaan? - Oosporen van genmutaties. *Natuur & Techniek* 1988; 56: 10, 810-825.

Frese W, Gruss P. Regelgenen - Managers van de celdifferentiatie. *Natuur & Techniek* 1990; 58: 2, 106-117.

KIKK OP WETENSCHAP verschijnt zes maal per jaar, onder redactie van Natuur & Techniek, in samenwerking met New Scientist. Van dit katern zijn overdrucken beschikbaar voor f 2,50 of 50 F per exemplaar (excl. verzendkosten), te bestellen bij Natuur & Techniek, Postbus 415, 6200 AK Maastricht (Nederland); telefoon 0(0-31)43 254044. Voor het maken van kopieën is toestemming vereist van de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen, Nederland).

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

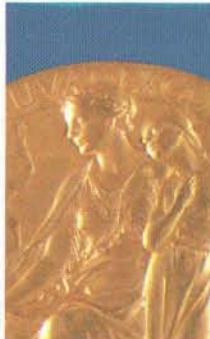
Explosieven

Drs G. Stout

Behalve in vuurwerk wordt buskruit nog maar weinig gebruikt. Andere explosieven, zoals dynamiet en kneedbommen, zijn betrouwbaarder en effectiever. Het aantal toepassingen ervan, vreedzame en minder vreedzame, groeit nog steeds. Telkens ligt een chemische reactie ten grondslag aan de knal en energie-explosie.



Nobelprijzen 1990



Geneeskunde

Dr F.H.J. Claas

Onze afweer tegen virusen en bacteriën blijkt ook bijzonder effectief tegen getransplanteerde organen. Dankzij de inspanningen van Joseph Murray en Don Thomas, beschikken we nu over middelen die de afweer kunnen onderdrukken als nieren of beenmerg van eigenaar moeten wisselen.

Natuurkunde

Dr J.W. van Holten

Jerome Friedman, Henry Kendall en Richard Taylor worden gelauwerd met de Nobelprijs voor de natuurkunde. Hun experimenten bevestigen het quarkmodel in de deeltjesfysica. Door hun werk weten we nu dat er een structuur bestaat binnen de protonen en neutronen van een atoomkern.

Scheikunde

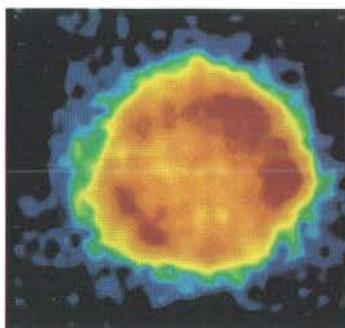
Prof dr B.L. Feringa

Elias Corey ontwikkelde een bouwstenenmodel voor de organische synthese. In een syntheseproduct onderscheid hij daarbij verschillende brokstukken, die afzonderlijk kunnen worden gemaakt. Zijn systeem is zo strikt logisch, dat de computer nu het ontwerpen van molekülen kan verzorgen.

KIJK OP WETENSCHAP

Ontstaan elementen

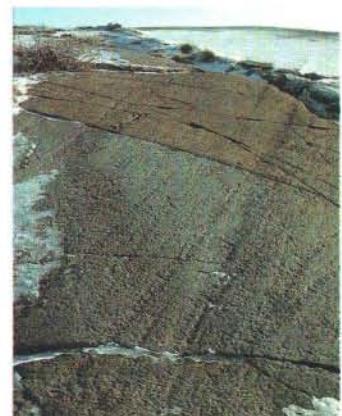
Door de oerknal ontstond een heelal met de eenvoudigste elementen, waterstof en helium. De zwaardere elementen, waaruit ook wijzelf bestaan, werden gevormd tijdens de geboorte, het leven en de dood van enkele generaties sterren.



IJstijden

Prof dr A. Brouwer

Het huidige beeld van de aarde met ijskappen is uitzonderlijk. Tijdvakken met ijskappen wisselen in de aardgeschiedenis af met veel langere perioden zonder ijs. Gedurende de laatste miljard jaar heeft onze planeet zeker vier maal een ijstijdvak



doorgemaakt. De bewegelijkheid van de aarde in haar baan om de zon is verantwoordelijk voor de wisselende hoeveelheden ijs tijdens de ijstijden.

LEITZ CBA 8000:

ANALYSEERT IN KLEUR



Leitz CBA 8000

is een kleurbeeld analyse systeem dat werkt als een elektronisch netvlies. Het systeem combineert een hoog kleur-onderscheidend vermogen met het bijzondere bedieningscomfort van een handzame pc met muis.

Snel en trefzeker bepaalt u digitaal voor elke beeldpunt kleur, verzadiging en helderheid, waarna u binnen enkele sekonden de complete analyse heeft van bijv. grootte, vorm en verdeling. Zo ontdekt u met groot gemak en met de hoogst denkbare nauwkeurigheid nieuwe verbanden in uw preparaten. Bel, schrijf of fax ons voor meer informatie en een vrijblijvende demonstratie.

LEICA B.V. afd. Mikroskopie,
Postbus 80 2280 AB Rijswijk. Telefoon: 070 - 3198999. Fax 070 - 3905659.

Leica